

EL BÚFALO DE AGUA

EN LATINOAMÉRICA

Hallazgos recientes



Fabio Napolitano • Daniel Mota Rojas
Isabel Guerrero L • Agustín Orihuela
Editores



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3^a. Edición



Xu Fu. 100 x 150cm, oil on canvas (2018).
Painting by Alex Cuibus

BM Editores, 2020.

EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

Hallazgos recientes

3.^a Edición

Directores Editoriales

Dr. Fabio Napolitano (Italia)

Profesor investigador.
Escuela de Ciencia Agrícola, Forestal, Alimentaria y Ambiental (SAFE), Università degli Studi della Basilicata (UNIBAS). Italia.
Docente de Posgrado, imparte los cursos de Producción Animal Sustentable y Producción Orgánica y Bienestar Animal.
Editor en Jefe de la revista "**Journal of Buffalo Science**" Lifescience Global, Canadá.
Experto en ciencia del comportamiento, alimentación y bienestar de pequeños y grandes rumiantes con énfasis en búfalo de agua.

Dr. Daniel Mota-Rojas (México)

Profesor Investigador.
Departamento de Producción Agrícola y Animal.
Comisionado del Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud.
Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias y de la Academia Veterinaria Mexicana.
Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT en México (nivel III).
Miembro de los Consejos Editoriales de las revistas "**Journal of Buffalo Science**", Editorial Lifescience Global, Canadá y de la revista "**Animals**" MDPI, Basel, Suiza.
Experto en respuestas Fisiológicas, Conductuales y Bienestar de los animales domésticos.

Dra. Isabel Guerrero Legarreta (México)

Profesora Investigadora.
Departamento de Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).
Campus Iztapalapa. México.
Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT en México (nivel III).
Actualmente profesora Distinguida y Emérita de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).
Experta en temas relacionados con Bienestar Animal *antemortem* y Ciencia de los Alimentos.

Dr. Agustín Orihuela (México)

Profesor Investigador.
Profesor titular de las cátedras de Bienestar Animal y de Comportamiento Animal.
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.
Postdoctorado de la Universidad de California, Davis Estados Unidos, en Comportamiento Animal.
Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT en México (nivel III).
Experto en temas de Reproducción, Comportamiento y Bienestar Animal.

Todos los derechos reservados del libro electrónico e impreso:

“EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA, hallazgos recientes”

pertenecen a la Editorial

BM Editores S.A. de C.V. México y a los Editores compiladores.

© 2020 BM Editores S.A. de C.V.

©Tercera edición, 2020.

©Third edition, 2020.

Este libro está legalmente protegido por los derechos de propiedad intelectual.

Cualquier uso fuera de los límites establecidos por la legislación vigente, sin el consentimiento de los editores, es ilegal.

Esto se aplica en particular al plagio, reproducción, adulteración, fotocopia, traducción, grabación o cualquier otro sistema de recuperación de almacenaje de información.

Esta obra se difunde a los grupos de investigación y ganaderos vinculados con el estudio o la producción de **Búfalos de agua** (*Bubalus bubalis*) de los siguientes países:

■ India ■ Brasil ■ Pakistán ■ Argentina ■ Chile ■ España ■ Italia
■ Canadá ■ México ■ Uruguay ■ Rumania ■ Egipto ■ Colombia ■
■ Bolivia ■ Estados Unidos ■ Honduras ■ China ■ Venezuela ■
■ Guatemala ■ Paraguay ■ Cuba ■ Perú ■ El Salvador ■ Filipinas
■ Costa Rica



ISBN: 978-607-99008-1-6

Edited and produced in Mexico City, Mexico.

ADVERTENCIA

Ni la editorial, ni los editores y autores asumen responsabilidad alguna por los daños que pudieran generarse a personas, animales o propiedades como consecuencia del contenido de esta obra.

La Editorial

ISBN: 978-607-99008-1-6



9 786079 900816

EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA



3^a. Edición

PRÓLOGO TERCERA EDICIÓN - (2020)



Dr. Rossella Di Palo PhD (Italia)



Full professor at the Department of Veterinary Medicine and Animal Production of the University of Naples Federico II, PhD in Animal Breeding Science on Buffalo breeding technique, Specialization degree in Animal nutrition and Specialization degree in Statistic for medicine. She is co-author author of 82 scientific article published in international journals with a total of 1459 citations and an h-index of 21. Her main field of research is on buffalo with topics on animal breeding technique, milk yield and quality improvement, type trait evaluation and biotechnologies applied to reproduction. She teaches at the bachelor course of Animal Production Technologies, at the master's degree in Animal Production Science and Technologies and at the master's degree in Veterinary Medicine. She is member of the expert group of the National Agency for the Valuation of University system and Research and member of the National Committee for Scientific Rating for the Academic Recruitment of the Ministry of University and Research of Italy. She is member of the editorial Board of Dairy by MDPI Switzerland and of Journal of Buffalo Science, Lifescience Global, Canada.

Prologue (english version)

It is my great pleasure to write this preface. This book is a result of the joint work of experts -colleagues and friends- in the field of buffalo breeding and production. During the last 50 years, ever since 1968, buffalo herds increased worldwide, more than twice than

cattle herds. This growing trend, originally aimed producing working animals, has been mainly due to realizing that buffaloes show advantages for milk and meat production. The result was constant production improvement and promotion during the last 20 years.

River buffalo, in fact, is a safe bet for breeders in many countries. However, production of this species is not always straightforward. Several aspects are not yet fully understood, mainly from the physiological, genetic and productive points of view, as compared to cattle which studies are nowadays several steps ahead. River buffaloes are also a challenge for researchers and producers; even when it is not fully understood it can become the driving force for national economies in several countries. The Italian scene is a clear example of this situation. Thanks to the collaboration between breeders and technicians, buffaloes have replaced cattle in many farms. Currently, river buffalo production is the only industry showing a definite increasing trend, with a driving turnover for the entire national agri-food sector. In addition, Mozzarella PDO (Protected Designation Origin) production using buffalo milk as raw material, is the third place of national PDO cheese sales.

Regarding buffalo production in Central and South America, herds showed a steady increase ever since 1988. Nowadays, buffaloes in this region are 1.23% of the total world buffalo population, mainly concentrated in Brazil, Venezuela, Colombia and Argentina, but also present in the whole region. I had the opportunity to witness, in the early 90's, a growing interest by farmers for this species, specially on milk production and processing into mozzarella cheese. From the breeding point of view, river buffalo's physiology is suitable to the Central and South American habitat due to their high resistance to tropical climates and to infective and parasitic diseases. Its rusticity makes river buffalo a valuable animal for thriving in less productive pastures, as it utilizes roughage better than cattle. The result of these combined characteristics is a more extended longevity, resulting in high resilience allowing buffaloes to be more productive than cattle, not only in large farms but also in small production systems in developing countries.

Notwithstanding its quality, the river buffalo possesses several peculiar aspects that complicate handling. One of them is the reproductive characteristics, such as seasonality, more or less evident at different latitudes.

Another one is the difficulty to apply reproductive biotechnologies, which is certainly one of the challenges to be accepted when opting for its breeding. . Even though, there are a lot of ongoing studies on this species, specially in the field of genetic and genomic selection, the goal must always be to preserve the above mentioned positive characteristics, together with the quality of its production, that make it unique and irreplaceable.

For breeders as well as for technicians and animal scientists, it is of main importance to be familiar with all aspects of this species, and to have in mind that buffaloes are different to cattle. This book provides a complete overview of the most important aspects of river buffalo. As experts from different countries put together their expertise on the topic, the result was merging different points of view.

I would like to thank the Editorial Board for giving me the opportunity to be part, albeit in a completely undeserved way, of this edition of "**El búfalo de agua en Latinoamérica, hallazgos recientes**" and the more than 100 authors from 22 countries that participated in this **third edition**. I wish the authors the best success in their research work and to readers to become motivated for continuing working on and for the River Buffalo.

Rosella Di Palo

Prólogo

Prólogo (versión en español)

Es un gran placer para mí escribir este prefacio. El presente libro "**El búfalo de agua en Latinoamérica, hallazgos recientes**", es el resultado del esfuerzo conjunto de expertos – colegas y amigos- en el campo de trabajo de la crianza y producción del búfalo de agua. Durante los últimos 50 años, desde 1968, los hatos de búfalos han aumentado, a nivel mundial, más del doble en comparación con los bovinos. Esta tendencia al aumento, que originalmente se basó en la producción de animales de trabajo, se debió a que se hicieron evidentes las ventajas de los búfalos en la producción de leche y carne. El resultado fue una mejora constante en la producción y la promoción de esta industria durante los últimos 20 años.

El búfalo de agua es, de hecho, una apuesta segura para los productores de muchos países. Sin embargo, la producción de esta especie no siempre es sencilla debido a que varios aspectos no han sido completamente entendidos, principalmente los relacionados con fisiología, genética y producción. En comparación, estos aspectos en reses han sido estudiados y comprendidos ampliamente.

Por otro lado, el búfalo es un reto para investigadores y productores; aunque esta especie no ha sido totalmente comprendida, es una industria que impulsa la economía de varios países. El caso de Italia es un ejemplo de esta situación. Gracias a la colaboración de productores y técnicos, los búfalos han sustituido a los bovinos en muchos ranchos. Actualmente, el búfalo de agua es la base de la única cadena de valor con un crecimiento notorio, siendo su tasa de retorno de inversión muy alto en el sistema agroalimentario. Además, la producción de Mozzarella PDO (Protected Designation Origin, Designación Protegida de Origen) utilizando leche de búfala como materia prima, ocupa el tercer lugar en ventas de queso PDO a nivel nacional en Italia.

Los hatos de búfalo de agua en América Central y del Sur han tenido un aumento continuo desde 1988. Actualmente, el número de búfalos en la región representa 1.23% del total mundial, la mayor parte concentrados en Brasil, Venezuela, Colombia y Argentina, pero con presencia en toda la región. Yo tuve la oportunidad de observar, en los primeros años de la década de 1990, el creciente interés en esta especie por parte de los productores de la región, principalmente por la posibilidad de una alta producción de leche y su industrialización en queso mozzarella.

Desde el punto de vista de la crianza, la fisiología del búfalo es adecuada al hábitat de Centro y Sudamérica, debido a su alta resistencia a climas tropicales y a enfermedades infecciosas y parasitarias. Su rusticidad hace a los búfalos animales de alto valor prosperando en pastos poco productivos, debido a que los utilizan más eficientemente que los bovinos.

El resultado combinado de las características anteriores es una mayor longevidad que se refleja en mayor resiliencia, permitiendo que los búfalos sean más productivos que los bovinos, no solamente en unidades de producción de gran tamaño, sino en ranchos pequeños de países en vías de desarrollo.

A pesar de sus características de calidad, el búfalo de agua presenta algunos aspectos que complican el manejo. Uno de ellos es referente a la reproducción, tal como la estacionalidad más o menos evidente a diferentes latitudes.

Otro aspecto es la dificultad de aplicar biotecnologías reproductivas, lo cual es sin duda uno de los retos que se deben aceptar cuando se opta por su crianza. Aunque hay muchos estudios que se están llevando a cabo en ésta especie, especialmente en el área de genética y selección genómica; el objetivo siempre debe ser preservar las características positivas antes mencionadas; que junto con la calidad de su producción los hace únicos e irremplazables.

Para los productores, así como para técnicos e investigadores, es de primera importancia conocer a fondo todos los aspectos de esta especie, y tener presente que el búfalo difiere en gran medida de la res. Este libro ofrece una visión completa de los aspectos más importantes del búfalo de agua, además que participan numerosos expertos de diversos países que aportan sus conocimientos y experiencia.

Deseo agradecer al Comité Editorial la oportunidad que me han brindado si bien completamente inmerecida, de ser parte de esta edición de esta obra **"El búfalo de agua en Latinoamérica, hallazgos recientes"** y a los más de 100 autores de 22 países que participan en esta **tercera edición**. Deseo a los autores el mejor de los éxitos en su investigación, y a los lectores la motivación para continuar trabajando sobre y para en búfalo de agua.

Rosella Di Palo



COMITÉ EDITORIAL

Revisores

Dr. Daniel Mota-Rojas (México)

Médico Veterinario Zootecnista de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Ciudad de México. Maestro en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal. FMVZ. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Doctorado en Ciencias Biológicas por la UAM, Cd. de México, en donde actualmente es Comisionado del Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud. Ha dirigido la Línea de Investigación: Fisiopatología del Estrés, Comportamiento y Bienestar de los Animales Domésticos. Su investigación se centra en la evaluación del estrés, expresiones faciales, calidad de vida, calidad de muerte y afecciones en la calidad de los productos. Docente invitado y conferencista internacional en comportamiento y Bienestar Animal. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT en México (nivel III). Es integrante de la Red Mexicana de Bienestar Animal y Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias y de la Academia Veterinaria Mexicana. Miembro de los Consejos Editoriales de las revistas “Journal of Buffalo Science”, Editorial Lifescience Global, Canadá y de la revista “Animals” MDPI, Basel, Suiza.

Dr. Fabio Napolitano (Italia)

Profesor en la Escuela de Ciencia Agrícola, Forestal, Alimentaria y Ambiental (Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali) (SAFE), Università degli Studi della Basilicata (UNIBAS). Doctorado en Ciencias de la Producción Animal en el área Bienestar de los Animales Domésticos. Comisionado del Doctorado en Ciencias Agrícolas (STAFSA) en la UNIBAS en donde actualmente dirige la línea de investigación: Bienestar de los Animales Domésticos y Calidad de los Productos. Es autor de más de 140 artículos científicos consignados en SCOPUS con 1700 citas y un h-index de 26. Ha sido integrante del grupo de trabajo del bienestar de las ovejas de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). Como docente de posgrado imparte los cursos de Producción Animal Sustentable y Producción Orgánica y Bienestar Animal. Actualmente es Editor en Jefe de la revista “Journal of Buffalo Science” Lifescience Global, Canadá.

Dr. José Ángel Pérez-Álvarez (España)

Licenciatura (Químico Fármaco Biólogo por la Universidad Nacional Autónoma de México); Licenciado en Farmacia (Ministerio de Educación y Ciencia, España); Master (Ciencia e Ingeniería de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia); Doctorado (Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Valencia). Profesor Catedrático de Universidad e Investigador responsable del Grupo Industrialización de Productos de Origen Animal (IPOA), Departamento de Tecnología Agroalimentaria, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH), España. Participación en cursos de alimentos funcionales financiados por la Agencia de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), Ministerio de Asuntos Exteriores del Reino de España, Cursos de Desarrollo e Innovación de nuevos Productos en Ecuador. Miembro del cuerpo editorial de la revista “Foods”.

Dr. Marcelo Daniel Ghezzi (Argentina)

Médico Veterinario, Licenciado en Sanidad Animal (Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires) y Doctor en Ciencias Veterinarias (Universidad Nacional de La Plata, Argentina). Actualmente es Profesor Titular de Anatomía Veterinaria y Coordinador del Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina. Sus áreas de investigación son: Anatomía veterinaria, producción bovina, equina y bienestar animal.

Dra. Ana Carolina Strappini Asteggiano (Chile)

Académica del Instituto de Ciencia Animal, Universidad Austral de Chile y Profesora Asociada de la Universidad Mayor, Chile. Obtiene su Master of Science y Doctorado (PhD) en Ciencia Animal en la Universidad de Wageningen (Wageningen, Países Bajos). Posteriormente realiza un Postdoctorado en la Universidad Austral de Chile, y una estancia post doctoral en la Universidad de British Columbia (Vancouver, Canadá). Es miembro del Programa de Bienestar Animal de la Universidad Austral de Chile, Centro Colaborador de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) para la Investigación sobre el Bienestar de Animales Chile-Uruguay-México. Además es integrante del Comité de Bienestar Animal del Consorcio Lechero de Chile. Ha participado de numerosos proyectos de investigación siendo sus principales áreas de investigación el comportamiento y bienestar de especies productivas, realizando estudios sobre la evaluación del bienestar en sistemas productivos y uso de protocolos, comportamiento social de bovinos y enriquecimiento ambiental en terneros.

Dr. Agustín Orihuela (México)

Ingeniero agrónomo zootecnista por la Universidad Autónoma de Chapingo; con maestría y doctorado en Producción Animal por la Universidad Nacional Autónoma de México; Postdoctorado de la Universidad de California, Davis en Comportamiento Animal. Es autor de más de 130 artículos científicos consignados en SCOPUS con más de 1200 citas internacionales. Actualmente Profesor titular de las cátedras de Bienestar Animal y de Comportamiento Animal en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT en México (nivel III). Sus áreas de interés son la Reproducción, el Comportamiento y el Bienestar Animal.

Dr. M.V. Leonardo Thielo de La Vega (Brasil)

Licenciado en Medicina Veterinaria por la Universidad Luterana do Brasil - ULBRA, con amplia experiencia en la industria de la carne de bovinos, pollos, pavos y cerdos. Fundador de las empresas F&S Consulting, brStart y Cibit. Pionero y gestor de la certificación de bienestar animal "Produtor do Bem". Actualmente es profesor de posgrado en UNOESC y miembro del Cuerpo Técnico de Facta y World's Poultry Science Association en Brasil.

Dr. Adolfo Gpe. Álvarez Macías (México)

Ingeniero Agrónomo, con maestría en desarrollo rural y otra en economía agrícola. Doctor en economía agroalimentaria por la École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, Francia. Profesor-Investigador del Departamento de Producción Agrícola y Animal, de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Campus Xochimilco, México. Con experiencia de más de 30 años en docencia, investigación y consultoría en las áreas de sistemas de producción animal, cadenas agroalimentarias, seguridad alimentaria, desarrollo rural y proyectos productivos en México y en países de América Latina, colaborando con instituciones internacionales y nacionales. Director de la revista: Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente y Editor de la Sección de Socioeconomía de la Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.

Dra. Isabel Guerrero-Legarreta (México)

Maestría en Ciencias (M. Sc.), especialidad en Alimentos, por la Universidad de Reading Inglaterra. Doctora en Ciencias (Ph.D.), especialidad en carne y productos cárnicos, por la Universidad de Guelph, Canadá. Evaluadora de proyectos CONACYT y Dictaminadora del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT en México. Desde hace más de 40 años es profesora investigadora en el Área de Bioquímica de Macromoléculas, Bienestar Animal y Ciencia de la Carne en el Departamento de Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Campus Iztapalapa. México. Sus temas de interés se relacionan con la bioquímica de macromoléculas, el efecto del estrés *antemortem* especialmente los métodos de aturdimiento, sus consecuencias en las transformaciones enzimáticas *post-mortem* y en la ciencia de los alimentos. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT en México (nivel III). Actualmente profesora Distinguida y Emérita de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).

Dr. Efrén Ramírez Bribiesca (México)

Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Maestro en Ciencias en Producción de pequeños rumiantes. Doctor en Ciencias en Producción y Nutrición de Rumiantes, por la UNAM-UC Davis, Ca. USA. Postdoctorados en Nutrición de Rumiantes en Raleigh, North Carolina, USA y Lethbridge Research Centre, Canadá. Desde hace más de 18 años es profesor investigador tiempo completo en el área de zootecnia y nutrición animal en el Colegio de Postgraduados (COLPOS), programa de Ganadería. Profesor asignatura en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Sus temas de interés se relacionan con la fisiología y nutrición animal, nano y micro tecnología pecuaria y calidad de la carne. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT en México. Nivel 3.

Dra. Juliana Sarubbi (Brasil)

Medica Veterinaria por la Universidad Estatal de Londrina (UEL), Maestría y Doctorado en Ingeniería Agrícola por la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Estatal de Campinas (FEAGRI-UNICAMP). Profesora del Departamento de Zootecnia e Ciencias Biológicas de la Universidad Federal de Santa María (UFSM) y Coordinadora del Laboratorio Ambiente y Bienestar Animal (UFSM). Área de investigación: Ambiente y bienestar en animales de granja.

Dr. Julio Martínez-Burnes (México)

Médico Veterinario Zootecnista por la Universidad Autónoma de Tamaulipas; México, Maestría en Ciencias Veterinarias (Patología Animal) por la Universidad Nacional Autónoma de México y Doctorado en Patología en Universidad de Isla Príncipe Eduardo, Canadá. Actualmente es Profesor de Tiempo Completo en FMVZ, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ha impartido cátedra de Patología General y Patología Sistémica en Licenciatura y Posgrado por más de 40 años. Ha sido Líder del Cuerpo Académico de Sanidad Animal, con certificaciones PROMEP, del Sistema Nacional de Investigadores y en Anatomopatología Veterinaria. Líneas de investigación orientadas a Perinatología, Patología y enfermedades del Sistema Respiratorio en diferentes especies de animales domésticos y fauna silvestre. Autor y coautor de artículos en revistas nacionales e internacionales y en libros de Patología y Perinatología Animal.

Dra. María Nelly Cajiao Pachón (Colombia)

Médica Veterinaria especialista en Laboratorio Clínico Veterinario y Patología, con Maestría en Bioética. Directora Especialización Bienestar Animal y Etología (EBAE). Docente asociada Fundación Universitaria Agraria de Colombia, UNIAGRARIA. Consultora, docente invitada y conferencista internacional en Bienestar Animal, Bioética y Educación Veterinaria. Investigadora junior Colciencias (Col.) y fundadora Grupo de Estudio “Un Bienestar con Actitud Verde”, miembro del Grupo de Investigación en “Ciencias Animales – UNIAGRARIA, línea “Un Bienestar”, asociada a One Welfare internacional (onewelfareworld - onewelfarelearning). Ha sido miembro de la Junta Directiva y Consejera para Latinoamérica de la Asociación Mundial de Veterinaria (WVA), y de sus Grupos de trabajo internacionales en Bienestar Animal y de Educación Veterinaria. Vicepresidente Asociación de Médicos Veterinarios de Colombia, AMEVEC. Junta Directiva Asociación Panamericana de Ciencias Veterinarias, PANVET. Miembro y par académico de acreditación internacional del Consejo Panamericano de Educación en las Ciencias Veterinarias COPEVET.

Dra. Rosy G. Cruz-Monterrosa (México)

Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Maestro en Ciencias en Producción Animal. Doctor en Ciencias en Biotecnología, por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Desde hace 8 años es profesora investigadora tiempo completo en el área de Ciencias de los Alimentos de la Unidad Lerma de la UAM. Es autora de 11 capítulos de libro, relacionados con ciencia de los alimentos en búfalos de agua. Sus temas de interés se relacionan con la Calidad e Inocuidad de los Alimentos y Ciencia de la Carne y Leche. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT en México. Nivel 1.

Dra. Patricia Mora-Medina (México)

Médica Veterinaria Zootecnista por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM (FESC-UNAM); con Maestría en Ciencias Veterinarias por la FMVZ de la UNAM y con Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), desarrollando la línea de investigación “Bienestar animal en rumiantes”. Actualmente es profesora investigadora en la FESC-UNAM y Tutora del programa de Posgrado en Ciencias de la Salud y Producción Animal, en el área de Bienestar Animal y Calidad de Productos de Origen Pecuário (UNAM). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT en México. Nivel 1.



COLABORADORES

Orden Alfabético

Dr. Ayman H. Abd El-Aziz (Egipto). A lecturer of Animal Breeding and Production at the Department of Animal Husbandry and Animal Wealth Development, Dammanhour University, Egypt. PhD in Animal Breeding and Production on Production of Genetically Modified Bovine Embryos. He is co-author and author of more than 20 scientific articles published in local and international journals with a total of 41 citations and an h-index of 4 (Google Scholar index). His main field of research is on Cattle, Buffalo, and Sheep as well as Rabbits with topics on animal breeding technique, milk yield and growth performance as well as nutrition and feed additives, and biotechnologies applied to reproduction. He teaches at the bachelor course of Animal Breeding and Production Technologies, at the master's degree in Animal Production Science and Technologies and at the PhD degree as well. He is a peer reviewer of some prestigious journals, for example, Gene, Electronic Journal of Biotechnology, Environmental Science and Pollution Research, Molecular Therapy-Nucleic Acids, DNA and Cell Biology, Bioscience Reports and International Journal of Poultry Science.

Dra. Alma Delia Alarcón Rojo (México). Profesora investigadora de la Facultad de Zootecnia y Ecología (FZyE), Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Doctorado (Ph.D.) en Ciencia de la carne, por la Universidad de Bristol, Reino Unido. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel 2. México.

Dr. Jorge Alva-Pérez (México). Profesor de tiempo completo de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia "Dr. Norberto Treviño Zapata", de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ha impartido las cátedras de Bacteriología e Inmunología a nivel de licenciatura y posgrado. Médico Veterinario y Zootecnista, egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México, realizó su doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal. Ha escrito artículos científicos en revistas indexadas y arbitradas y de difusión. Es Jefe de Laboratorio de Biología Molecular de

dicha facultad, y actualmente dirige los proyectos de investigación: "Epidemiología de patógenos intracelulares" "Virulencia molecular de *Brucella melitensis*" y "Caracterización microbiana ecológica de la cabra tamaulipeca".

Dr. Adolfo Gpe. Álvarez Macías (México). Ingeniero Agrónomo, con maestría en desarrollo rural y otra en economía agrícola. Doctor en economía agroalimentaria por la École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, Francia. Profesor-Investigador del Departamento de Producción Agrícola y Animal, de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Campus Xochimilco, México. Con experiencia de más de 30 años en docencia, investigación y consultoría en las áreas de sistemas de producción animal, cadenas agroalimentarias, seguridad alimentaria, desarrollo rural y proyectos productivos en México y en países de América Latina, colaborando con instituciones internacionales y nacionales. Actualmente tiene una docena de artículos científicos y capítulos de libro sobre el desempeño productivo de los búfalos de agua y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. Director de la revista: Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente y Editor de la Sección de Socioeconomía de la Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.

Dr. Marcelo Oscar Ballerio (Argentina). Médico Veterinario, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Plata. Se desempeña en el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), como Director de Control de Gestión-Director Nacional de Sanidad Animal (DNSA). Participa como asesor-colaborador en el Área de Bienestar Animal, en la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina.

Dr. Hugo Brígido Barrios García (México). Médico Veterinario Zootecnista por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, México. Especialista en Bacteriología y Micología Veterinaria y Maestro en Ciencias en Microbiología, ambas por la Universidad Nacional Autónoma de México. Doctor en Ciencias en Microbiología por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Ha impartido cátedras de Bacteriología y Micología Veterinaria e Inmunología en Licenciatura y Posgrado por 15 años. Realiza investigación orientada a la sanidad animal con la línea: Fisiopatología, prevención y control de enfermedades de animales domésticos y silvestres. Autor y coautor de artículos en revistas nacionales e internacionales. Actualmente cuenta con certificación PRODEP y del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1.

Dr. MVZ. Marcelino Becerril Herrera (México). Maestro en Ciencias por la Universidad de Nayarit (UAN). México. Doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad Autónoma Metropolitana (2010). Profesor Investigador de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y un gran ser humano (†). Pionero en valoración del bienestar animal a través de perfiles fisiometabólicos sanguíneos. Sus hallazgos aportan bases científicas para reducir el estrés *ante-mortem* de rumiantes y monogástricos durante su transporte y matanza. Sus 3 libros en ciencia de la carne y sus más de 40 artículos científicos en más de 20 revistas entre las que destacan Meat Science y Livestock Science dejan un legado a la Medicina Veterinaria Mexicana. La tercera edición del libro: “El búfalo de agua en Latinoamérica, hallazgos recientes” (2020), está dedicado a su Memoria y al deseo de prosperidad y éxito de su pequeño Leo y esposa. Descanse en paz.

Dr. Jesús Alfredo Berdugo Gutiérrez (Colombia). DMV, MSc., PhD. Médico Veterinario, Master en Genética Humana y Doctor en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia. Su maestría la dedicó al estudio de la Genética Reproductiva y su doctorado al estudio de las diferencias en la reproducción de búfalos y vacas. Se vinculó con los búfalos desde el año 1998, fue Director de la Asociación Colombiana de Criadores de Búfalos y posteriormente el director de su Comité Técnico, dedicado en la investigación a los temas de reproducción y recientemente el comportamiento y su efecto en la producción bufalina. Sus investigaciones actuales se enfocan en la producción de embriones de búfalo de agua, el efecto de la estación sobre estas biotecnologías y al fortalecimiento del Centro Latinoamericano para el Estudio del Búfalo de Agua (CLABU).

E.D.C. M. en C. MVZ. Aldo Bertoni Mendoza (México). Médico Veterinario Zootecnista de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Ciudad de México. Maestría en Ciencias Agropecuarias en Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Ciudad de México. Importador de genética bovina. Área de investigación e interés: sistemas de producción, ambiente y bienestar del búfalo de agua en Latinoamérica. Actualmente ha publicado en temas relacionados con las respuestas térmicas, conductuales y fisiológicas del búfalo de agua en el trópico latinoamericano y los sistemas de ordeño y productividad de la búfala lechera.

Dr. Andrea Bragaglio (Italia). Investigador en Ciencia Animal, Universidad “Aldo Moro” de Bari, Departamento de Medicina Veterinaria (Italia). Sus actividades de investigación se centran en búfalos lecheros, pequeños rumiantes y équidos. El se hizo merecedor a una estancia Posdoctoral (PostDoc position) en el Consejo Italiano de Investigación Agrícola y Análisis de la Economía Agrícola (Council for Agricultural Research and Agricultural Economy Analysis) y obtuvo un doctorado en Ciencias Agrícolas, Forestales y Alimentarias en la Escuela de Ciencias Agrícolas de la “University of Basilicata”. También adquirió experiencia específica en el área de impacto ambiental mediante la evaluación del ciclo de vida.

Dra. Ada Braghieri (Italia). Profesora Asociada de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Forestales, Alimentarias y Ambientales (SAFE) de la “University of Basilicata” (UNIBAS), desde 2014. Tiene un doctorado (Ph.D.) en “Sciences and Technologies of Animal Production of Difficult Areas”. En 2018, obtuvo “The National Scientific Qualification” para ser Profesora Titular. Sus temas de investigación se refieren a la evaluación sensorial de productos de origen animal, la evaluación de la sostenibilidad ambiental de los sistemas de producción ganadera, la producción de productos orgánicos, el comportamiento de pastoreo de razas nativas, el temperamento de los caballos y promoción de productos típicos de origen animal.

MDA. Ing. Agro. Janeth Caamaño (Venezuela). Técnico Superior en Agrotecnia (Instituto Tecnológico Universitario de Ejido; Ejido, Mérida, Venezuela). Ingeniera en Agroalimentación (Universidad Politécnica Territorial de Mérida Kleber Ramírez; Ejido, Merida, Venezuela). Magister en Desarrollo Agrario (Universidad de los Andes, Mérida, Mérida, Venezuela). Asistente de Investigación adscrito a la Línea de Investigación en

Producción Animal del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP) de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela).

Dra. María Nelly Cajiao Pachón (Colombia). Médica Veterinaria especialista en Laboratorio Clínico Veterinario y Patología, con Maestría en Bioética. Directora Especialización Bienestar Animal y Etología (EBAE). Docente asociada Fundación Universitaria Agraria de Colombia, UNIAGRARIA. Consultora, docente invitada y conferencista internacional en Bienestar Animal, Bioética y Educación Veterinaria. Investigadora junior Colciencias (Col.) y fundadora Grupo de Estudio “Un Bienestar con Actitud Verde”, miembro del Grupo de Investigación en “Ciencias Animales – UNIAGRARIA, línea “Un Bienestar”, asociada a One Welfare internacional (onewelfareworld - onewelfarelearning). Ha sido miembro de la Junta Directiva y Consejera para Latinoamérica de la Asociación Mundial de Veterinaria (WVA), y de sus Grupos de trabajo internacionales en Bienestar Animal y de Educación Veterinaria. Vicepresidente Asociación de Médicos Veterinarios de Colombia, AMEVEC. Junta Directiva Asociación Panamericana de Ciencias Veterinarias, PANVET. Miembro y par académico de acreditación internacional del Consejo Panamericano de Educación en las Ciencias Veterinarias COPEVET.

M.C. Reyes Omaro Caraveo Suárez (México). Estudiante de doctorado, Facultad de Zootecnia y Ecología (FZyE), Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Especialización: Ciencia de la Carne. Realizó su maestría en la FZyE de la UACH en Producción Animal y Recursos Naturales con área mayor en Ciencia de la Carne.

Dr. Luis Manuel Carrillo López (México). Catedrático CONACyT adscrito a la Facultad de Zootecnia y Ecología (FZyE), Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Doctorado (Dr.) en Recursos Genéticos y Productividad con orientación en Fisiología Vegetal, por Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, México. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel I.

EDC. M. en C. MVZ. Alejandro Casas Alvarado (México). Maestría en Ciencias (M. Sc.) enfocado en área de la evaluación del dolor y bienestar animal, por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Profesor asociado “A” de la materia en Farmacología, Toxicología y Terapéutica Veterinaria en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Facultad de estudios superiores Cuautitlán (UNAM, FES-C). Diplomado en

Anestesiología y Analgesia Veterinaria. Miembro del Colegio Mexicano de Anestesiología y Analgesia Veterinaria. Práctica privada en clínica con más de 10 años de experiencia en atención al dolor y traumatología.

Dra. María Carolina Ceriani (Argentina). Licenciada en Ciencias Biológicas (Universidad Nacional de Buenos Aires) y Doctora de la Universidad de Buenos Aires, Orientación Ciencias Químicas, Argentina. Actualmente es Profesora Asociada de Biología Celular y Sistemática de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina, e Investigador Independiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Sus áreas de investigación son: Sanidad animal y retrovirus animales.

Dr.C. Belkis Corona González (Cuba). Investigadora Titular del Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Doctorado en Ciencias Veterinarias por el CENSA. Jefa del laboratorio de hemoparásitos, donde dirige la línea de investigación de enfermedades transmitidas por garrapatas. Es autora de más de 110 publicaciones, con 225 citas y un h-index de 9. Es miembro del Comité Doctoral del Programa de Salud Animal, CENSA-UNAH y profesor de la Maestría de Microbiología, CENSA. Es miembro del Tribunal Nacional de Grados Científicos. Miembro del grupo de garrapatas y enfermedades asociadas de CaribVet y de la Cátedra de Una Salud y del grupo de expertos del Centro Colaborador de la OIE para reducción del riesgo de desastres en sanidad animal. Es Editora Principal de la Revista de Salud Animal, CENSA, Cuba y miembro del cuerpo editorial de la sección “Ticks”, dentro de la revista “Pathogens”.

Dr. Gustavo Angel Crudeli (Argentina). Médico Veterinario por la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Nordeste (U.N.N.E.). Master of Science en Medicina Veterinaria: Área de Reproducción Animal, otorgado por la Escuela de Veterinaria, de la Universidad Federal de Minas Gerais (U.F.M.G.) Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Doctor en Ciencias Veterinarias por la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Profesor Titular de la Cátedra de Teriogenología, de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la UNNE. Ha sido Profesor Extraordinario Visitante, a cargo de la Cátedra de Obstetricia y Reproducción de la Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias de la Universidad Católica de Salta (UCASAL). Ha dirigido a decenas estudiantes de pregrado

y posgrado y ha dictado medio centenar de cursos en la especialidad. Es editor de 5 libros en la temática de Reproducción en Bovinos y Bufalinos.

Dra. Rosy G. Cruz-Monterrosa (México). Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Maestro en Ciencias en Producción Animal. Doctor en Ciencias en Biotecnología, por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Desde hace 8 años es profesora investigadora tiempo completo en el área de Ciencias de los Alimentos de la Unidad Lerma de la UAM. Es autora de 11 capítulos de libro, relacionados con ciencia de los alimentos en búfalos de agua. Sus temas de interés se relacionan con la Calidad e Inocuidad de los Alimentos y Ciencia de la Carne y Leche. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT en México. Nivel 1.

E.PhD M.Sc. ASE. Alex Cuibus (Romania). Animal Science Engineer (ASE). Lab technician for the Bovine breeding department at the Faculty of Animal Science and Biotechnologies of the University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine of Cluj-Napoca in Romania. He is a PhD-student in Animal Science, concerning Bubaline Ethology, also a PhD-student in Fine Art. He has a BA degree in Water Buffalo Ethology, a Master degree in Water buffalo welfare, also a Bachelor degree and a Master degree in Fine Art, Painting. He is a Water Buffalo enthusiast, has obtained an award from the local Buffalo breeders association, different awards for painting and among other aspects, he has traveled to India for a training in silkworm seed production for the International Sericulture Commission (ISC). Working for the Bovine Breeding Department of his university, he is involved in the research conducted there. He is a member of the Animal Welfare and Production Management Laboratory at the university and a full member of the local Artists Guild, the Plastic (Visual) Artists Union (UAP).

Dr. José Luis Dávalos Flores (México). Médico veterinario zootecnista por la FMVZ de la Universidad Nacional Autónoma de México, con estudios de maestría y doctorado en Administración por la Universidad La Salle. Actualmente es Jefe del Departamento de Economía, Administración y Desarrollo Rural de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, y consejero técnico de la Comisión para el Fomento de la Calidad de la Leche (COFOCALEC) y de la Comisión Nacional Ejecutiva Bovinos Leche. Participa como miembro del Capítulo México ante el IFCN-Dairy Research Network. Es coordinador operativo de la Red de Investigación e Innovación Tecnológica para la Ganadería

Bovina Tropical (REDGATRO) del CONACyT. Su línea de investigación es la competitividad del sector lechero. Es autor o coautor de 27 capítulos en libros especializados, 76 en artículos científicos y divulgativos; y tutor de 30 tesis de maestría.

Dr. Giuseppe De Rosa (Italia). Profesor emérito de la Università degli Studi di Napoli Federico II. Se desempeña en el área de producción animal del Departamento de Agricultura. Particularmente ha centrado su actividad como investigador en el comportamiento y el bienestar de los animales de granja. Una gran parte de su trabajo está relacionada con el comportamiento, alojamiento y bienestar animal. Es miembro del consejo editorial de las revistas "Journal of Buffalo Science" (Lifescience Global, Mississauga, Canadá) y "Dairy" (MDPI, Basel, Suiza).

M. Sc. Elena De Varona Rodríguez (Cuba). Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia y Master en Producción Animal Sustentable (Cuba). Líder del proyecto EcoForMAS. Por más de 8 años se desempeñó en la Secretaria de Transferencia de Tecnologías, de Proyectos y Ejecutiva Financiera de las Filiales Provinciales de ACPA (Asociación Cubana de Producción Animal), ACTAF (Asociación Cubana de Técnicos Agropecuarios y Forestales y el Consejo Científico Veterinario de Camaguey, Cuba. Desde el 2007, colabora como docente e investigadora en el Departamento de Morfofisiología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Camagüey y desarrolla investigación en el área de bienestar de los bovinos lecheros. Actualmente lidera el programa integral Bienestar Animal-Humano Sostenible en Cuba y realiza sus estudios de Doctorado en bienestar de caprinos lecheros.

Dr. Antonio Di Francia (Italia). Profesor asociado en el Departamento de Ciencias Agrícolas de la Università degli Studi di Napoli Federico II. Su actividad de investigación se enfoca en el uso de aditivos microbianos en la alimentación animal, los efectos de la alimentación y el método de conservación del forraje sobre la composición de ácidos grasos y las características sensoriales de la leche y el queso; así como temáticas relacionadas con la ganadería orgánica y ecológica. A nivel nacional está involucrado en el Comité Científico del "Consorzio Mozzarella di Bufala Campana DOC" y el Comité Científico "Nutrición proteica y alimentación de rumiantes".

Med. Vet. Mauricio David Díaz (Argentina). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Actualmente es Docente de Inspección y Tecnología de Carnes y Productos Cárnicos. Integrante del Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina. Sus áreas de investigación son: Tecnología e Inspección de Carnes y Productos Cárnicos y Bienestar Animal.

Dra. Juana Fernández López (España). Licenciatura (Veterinaria, Universidad de Murcia); Master (Ciencia e Ingeniería de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia); Doctorado (Veterinaria, Universidad de Murcia). Perteneció al Grupo Industrialización de Productos de Origen Animal (IPOA), en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH). Profesora Catedrática de Universidad, Coordinadora del Programa de Doctorado en Recursos y Tecnologías Agrarias, Agroambientales y Alimentarias de la UMH. Ha participado en actividades de investigación y enseñanza en colaboración con grupos de investigación de Alemania, Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Egipto, Francia, Israel, Italia, Lituania, Marruecos, México, Polonia, Portugal, Reino Unido y Túnez. Investigadora principal de proyectos de investigación aplicada a productos cárnicos con Marruecos. Miembro del cuerpo editorial de la revista "Foods".

SDCA. M. en C. Salvador Flores Peinado (México). Maestro en Ciencias por la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Profesor Investigador en la FESC, UNAM. Área de Investigación, bienestar animal y calidad de la carne en diferentes especies.

Dr. Iván A. García-Galicia (México). Profesor Investigador de la Facultad de Zootecnia y Ecología (FZyE), Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Doctorado (Ph.D.) en Ciencia de la carne, por la Universidad de Bristol, Reino Unido. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel 1. Miembro del Cuerpo Académico 03 en Tecnología de Productos de Origen Animal, UACH. Coordinador Académico de Posgrado de la FZyE.

Dr. Marcelo Daniel Ghezzi (Argentina). Médico Veterinario, Licenciado en Sanidad Animal (Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires) y Doctor en Ciencias Veterinarias (Universidad Nacional de La Plata, Argentina). Actualmente es Profesor Titular de

Anatomía Veterinaria y Coordinador del Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina. Es autor de 12 capítulos de libro, relacionados con ciencia de los alimentos en búfalos de agua. Sus áreas de investigación son: Anatomía Veterinaria, producción bovina, bufalina, equina y bienestar animal.

Dr. Miguel González Lozano (México). Licenciado en MVZ por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Maestría y Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Área de Investigación: Farmacología Clínica en Experimentación Animal. Tiene especial interés por los procesos fisiopatológicos en ginecología y obstetricia veterinaria. Actualmente es profesor del Centro de Enseñanza e Investigación CEIEPP de la UNAM. México.

Dra. Isabel Guerrero Legarreta (México). Maestría en Ciencias (M. Sc.), especialidad en Alimentos, por la Universidad de Reading Inglaterra. Doctora en Ciencias (Ph.D.), especialidad en carne y productos cárnicos, por la Universidad de Guelph, Canadá. Evaluadora de proyectos CONACYT y Dictaminadora del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT en México. Desde hace más de 40 años es profesora investigadora en el Área de Bioquímica de Macromoléculas, Bienestar Animal y Ciencia de la Carne en el Departamento de Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Campus Iztapalapa. México. Sus temas de interés se relacionan con la bioquímica de macromoléculas, el efecto del estrés antemortem especialmente los métodos de aturdimiento, sus consecuencias en las transformaciones enzimáticas *post-mortem* y en la ciencia de los alimentos. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT en México (nivel III). Actualmente profesora distinguida y emérita de ésta casa de estudios.

Dr. Prof. Alsaied Alnaimy Mostafa Habeeb (Egipto). Profesor Emérito de Ciencia Animal (Animal Science Professor). Es autor de 92 publicaciones científicas en revistas nacionales y 61 artículos publicados en revistas internacionales de alto prestigio. Es editor de 7 libros y respecto de la formación de recursos humanos ha dirigido a 24 tesis de posgrado entre maestría y doctorado. Labora en el ["Biological Applications Department, Radioisotopes Applications Division, Nuclear Research Center, Atomic Energy Authority"], Inshas, en el Cairo, Egipto.

TSA. Ing. Forestal. Javier Hernández (Venezuela). Técnico Superior en Agrotecnia (Instituto Tecnológico Universitario de Ejido; Ejido Mérida, Venezuela). Ingeniero Forestal (Universidad de los Andes, Mérida, Mérida, Venezuela). Asistente de Investigación adscrito a la Línea de Investigación en Producción Vegetal del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP) de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela).

C. Dr. M. en C. Ismael Hernández Avalos (México). Candidato a Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales por la Universidad Autónoma del Estado de México. Maestro en Ciencias Pecuarias por la Universidad de Colima. Diplomado en: Anestesia y Analgesia; Epidemiología Veterinaria; Medicina, Cirugía y Zootecnia. Docente de las cátedras de Farmacología, Toxicología y Terapéutica Médico Veterinaria, Anestesiología, Epidemiología Veterinaria, Bienestar Animal, Salubridad Pública Veterinaria, en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM con una antigüedad de 20 años. Profesor investigador en las áreas de Farmacología Clínica y Anestesia Veterinaria con énfasis en monitorización anestésica, ventilación mecánica, manejo del dolor, medicina interna, resistencia a antimicrobianos desde el enfoque de una salud.

Dra. Mariana Huerta Jiménez (México). Catedrática CONACyT adscrita a la Facultad de Zootecnia y Ecología (FZyE), Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Doctorado en Ciencias (Dr.) en Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería, por el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Edo de México, México. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel Candidato.

Dra. Danilda D. Hufana-Duran (Filipinas). Scientist I and Head of the Reproduction and Physiology Section of the Department of Agriculture-Philippine Carabao Center and Affiliate Professor of the Central Luzon State University, BRIDGE Fellow of the Hokkaido University -Japan, Prometeo of Universidad Técnica de Babahoyo-Ecuador, Fulbright Fellow of the University of Wisconsin-Madison USA, PhD in Agricultural Sciences with specialization in Reproductive Biotechnology in University of Tsukuba-Japan, Master in Agriculture with specialization in Animal Reproduction n Miyazaki University-Japan, and Bachelor of Science in Biology at Central Luzon State University-Philippines. She has main authored 69 and co-authored 47 scientific articles published in local and international journals with a total of 218 citations and an h-index of 6.

Her main field of research is on buffalo with topics on animal reproduction, reproductive biotechnologies, and management. She teaches at the graduate school of Animal Science of the Central Luzon State University and mentors research students from both the undergraduate and graduate courses of this university and from various universities such as the University of the Philippines-Diliman and Baguio City. She is a member of the Editorial Board of the CLSU International Journal of Science and Technology and the Journal of Buffalo Science published by Lifescience Global, Canada Inc. She serves a Reviewer of Theriogenology, Buffalo Bulletin, Iranian Journal of Veterinary Research, Iranian Journal of Applied Science, and the Philippine Journal of Science.

Dr. José Luis Konrad (Argentina). Docente de la Cátedra de Teriogenología, Facultad de Ciencias Veterinarias (FCV) de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Investigador asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET, Argentina). Magister en Producción Animal Subtropical y Doctor en Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Nordeste. Responsable del Grupo de Biotecnología de Reproducción Animal de la FCV-UNNE. Coordinador y docente en la Maestría en Producción Animal Subtropical (FCV-UNNE). Es autor de más de 30 artículos científicos consignados en SCOPUS y un h-index 7. Director de proyectos de investigación en biotecnología de la reproducción en vacunos y bubalinos.

Dr. César Aquiles Lázaro de la Torre (Perú). Médico Veterinario, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Magíster en Farmacología, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Doctor en Medicina Veterinaria, por la Universidad Federal Fluminense (Brasil). Docente de pregrado y posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Investigador del Laboratorio de Farmacología y Toxicología Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima-Perú).

Dra. Pamela Anahí Lendez (Argentina). Veterinaria, con Doctorando en Ciencia Animal (Facultad de Ciencias Veterinarias - Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires). Actualmente es docente de Anatomía Veterinaria en la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina. Sus áreas de investigación son: anatomía veterinaria, sanidad animal, retrovirus animales.

CDCB. MVZ. Karina del Rocío Lezama García (México). Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia (MVZ) por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Especialidad en Medicina y Cirugía en el Hospital Veterinario de Especialidades de la Universidad Nacional Autónoma de México (HVE-UNAM). Diplomados en Traumatología y Ortopedia; Dermatología Veterinaria y Oftalmología Veterinaria. Cuenta con 14 publicaciones internacionales en revistas indizadas a Scopus y Web of Science. Sus temas de interés son medicina y cirugía, eutanasia, dolor durante la muerte, reproducción y ginecobstetricia veterinaria. Actualmente se encuentra cursando el Doctorado en Ciencias Biomédicas.

Dr. Alfonso López Mayagoitia (Canadá). Es médico veterinario por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, México; con maestría y doctorado en patología veterinaria por la Universidad de Guelph en Canadá. Fue Profesor Titular de la cátedra de Anatomía Patológica en el Colegio Veterinario del Atlántico en la Universidad de la Isla de Príncipe Eduardo (UPEI), donde impartió cátedra de licenciatura y posgrado por más de 35 años, además de trabajar como patólogo en el laboratorio de diagnóstico. Como investigador su interés principal han sido las enfermedades respiratorias y ha publicado numerosos artículos y capítulos en libros de texto tanto en México como en Estados Unidos y Canadá. Es Profesor Emérito de Patología en el "Atlantic Veterinary College" de la UPEI en Canadá.

Dr. Naveena B. Maheswarappa (India). Dr. Naveena, B. Maheswarappa is a Principal Scientist at ICAR-National Research Centre on Meat, Hyderabad, India. He received his Master's and PhD from Indian Veterinary Research Institute specialized in physical, chemical and enzymatic methods for improving the texture of water buffalo meat. Dr. Naveena was a post-doctoral scientist at University of Connecticut, USA and a visiting scholar at Oklahoma State University, USA. His main research areas are use of high-throughput proteomic tools for understanding muscle food quality, lipid-protein interaction and authentication of meat species from raw and cooked meat mixes. He has published more than 100 peer-reviewed Journal articles, 4 books, 5 book chapters and 4 patents. Dr. Naveena has undertaken various extra-mural research projects including contract research and consultancy projects with Industries and trained more than 500 meat processors. He is serving as a National Contact person from India for ICoMST and Scientific Panel member for Food Safety and Standards Authority of India and involved in developing science-based standards for meat and poultry products.

Dr. Julio Martínez Burnes (México). Médico Veterinario Zootecnista por la Universidad Autónoma de Tamaulipas; México, Maestría en Ciencias Veterinarias (Patología Animal) por la Universidad Nacional Autónoma de México y Doctorado en Patología en Universidad de Isla Príncipe Eduardo, Canadá. Actualmente es Profesor de Tiempo Completo en FMVZ, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ha impartido cátedra de Patología General y Patología Sistémica en Licenciatura y Posgrado por más de 40 años. Ha sido Líder del Cuerpo Académico de Sanidad Animal, con certificaciones PROMEP, del Sistema Nacional de Investigadores y en Anatomopatología Veterinaria. Líneas de investigación orientadas a Perinatología, Patología y enfermedades del Sistema Respiratorio en diferentes especies de animales domésticos y fauna silvestre. Autor y coautor de artículos en revistas nacionales e internacionales y en libros de Patología y Perinatología.

Dra. Gabriela Marcela Martínez (Argentina). Ingeniera Agrónoma, Universidad Nacional de Salta. Master Science en Producción Animal, Universidad Nacional de Mar del Plata. Especialista en Bienestar Animal, Universidad de Buenos Aires. Doctor en Ciencia Animal, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Profesor Manejo de Sistemas Ganaderos, Universidad Nacional de Salta. Investigadora y Coordinadora en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en la Estación Experimental de Salta.

Dra. Felicia Masucci (Italia). Profesor asistente de Nutrición y Alimentación Animal en la "University of Naples Federico II". Doctorado en Ciencias de la Producción Animal. En la investigación tiene particular interés en los efectos de la alimentación de los rumiantes sobre la calidad de los productos de origen animal. Ella es miembro del Consejo Editorial de la revista Journal of Buffalo Science, editorial Lifescience Global, en Canadá.

Mtra. Agatha Elisa Miranda Cortés (México). Maestría en Medicina Veterinaria y Zootecnia por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC) UNAM. Diplomado en Anestesia y Analgesia. Diplomado en Medicina, Cirugía y Zootecnia. Diplomado en Dermatología Veterinaria. Profesor de Asignatura "A" Interino en Farmacología, Toxicología y Terapéutica Médico Veterinaria con una antigüedad de 10 años FESC Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Sus temas de interés se relacionan con Anestesiología, monitorización anestésica, ventilación mecánica, manejo del dolor y medicina interna.

Lic. Zoot. Sucler Molina (Guatemala). Universidad de San Carlos de Guatemala. Criadora de Búfalos de Agua desde el 2014. Especialidad en Lácteos y procesos Cárnicos. Sus temas de interés y conferencias se relacionan con el manejo y trabajo de búfalos de agua en palma de aceite en Guatemala.

MPA. IAPA. Adriana Morgado-Osorio (Venezuela). Ingeniera Agrónoma de Producción Animal (Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales Rómulo Gallegos (San Juan de los Morros, Guárico, Venezuela). Magister en Producción Animal (Universidad Central de Venezuela, Maracay, Aragua, Venezuela). Profesora adscrita a la Línea de Investigación en Producción Animal del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP) de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela). Imparte clases de Taller de Desarrollo en la Escuela de Ingeniería Forestal, y de Reproducción Bovina y Pastos y Forrajes en la Escuela Técnica Superior Forestal, ambas de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela).

Dra. Patricia Mora-Medina (México). Médica Veterinaria Zootecnista por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM (FESC-UNAM); con Maestría en Ciencias Veterinarias por la FMVZ de la UNAM y con Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), desarrollando la línea de investigación “Bienestar animal en rumiantes”. Actualmente es profesora investigadora en la FESC-UNAM y Tutora del programa de Posgrado en Ciencias de la Salud y Producción Animal, en el área de Bienestar Animal y Calidad de Productos de Origen Pecuario (UNAM). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT en México. Nivel 1.

Ing. Diego Armando Morales Canela (México). Licenciatura en Ciencias Agrícolas de la Universidad EARTH de Costa Rica. Especializado en Manejo Holístico por el Savory Institute. Productor de Búfalos en México desde el 2010. Tiene un amplio interés y experiencia en los sistemas de producción de búfalo de agua en el trópico húmedo.

Dr. Daniel Mota-Rojas (México). Médico Veterinario Zootecnista de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Ciudad de México. Maestro en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal. FMVZ. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Doctorado en Ciencias Biológicas por la UAM, Cd. de México, en donde actualmente es Comisionado del Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud. Ha dirigido la Línea de Investigación: Fisiopatología del Estrés, Comportamiento y Bienestar de los Animales Domésticos por 20 años. Su investigación se centra en la evaluación del estrés, expresiones faciales, calidad de vida, calidad de muerte y afecciones en la calidad de los productos. Docente invitado y conferencista internacional en comportamiento y Bienestar Animal. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT en México (nivel III). Es autor de más de 140 artículos científicos consignados en SCOPUS con 1700 citas y un h-index de 23. Es integrante de la Red Mexicana de Bienestar Animal y Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias y de la Academia Veterinaria Mexicana. Miembro de los Consejos Editoriales de las revistas “Journal of Buffalo Science”, Editorial Lifescience Global, Canadá y de la revista “Animals” MDPI, Basel, Suiza.

Dr. Fabio Napolitano (Italia). Profesor en la Escuela de Ciencia Agrícola, Forestal, Alimentaria y Ambiental (SAFE), Università degli Studi della Basilicata (UNIBAS). Doctorado en Ciencias de la Producción Animal en el área Bienestar de los Animales Domésticos. Comisionado del Doctorado en Ciencias de Agricultura (STAFSA) en la UNIBAS en donde actualmente dirige la línea de investigación: Bienestar de los Animales Domésticos y Calidad de los Productos. Ha sido integrante del grupo de trabajo del bienestar de las ovejas de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). Es autor de más de 160 artículos científicos consignados en SCOPUS con 2700 citas y un h-index de 30. Como docente de posgrado imparte los cursos de Producción Animal Sostenible y Producción Orgánica y Bienestar Animal. Actualmente es Editor en Jefe de la revista “*Journal of Buffalo Science*” Lifescience Global, Canadá.

MPA. MV. Hector Nava-Trujillo (Venezuela). Médico Veterinario, Especialista en Reproducción Bovina, Magister en Producción Animal y Diplomado en Extensión Rural en la Universidad del Zulia, Maracaibo, Zulia, Venezuela. Profesor adscrito a la Línea de Investigación en Producción Animal del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP) de la Facultad de Ciencias Forestales

y Ambientales de la Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela). Imparte clases de Reproducción Bovina y Pastos y Forrajes en la Escuela Técnica Superior Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela). Autor de más de 20 artículos científicos sobre diferentes aspectos de la reproducción de rumiantes. Actualmente es Editor en Jefe de la revista “Journal of Veterinary Andrology” (Venezuela).

Dr.C. Dasiel Obregón Alvarez (Cuba). Profesor Auxiliar del Departamento de Medicina Veterinaria Preventiva, Universidad Agraria de la Habana (UNAH), Cuba. Doctorado en Ciencias Veterinarias, mención en Salud Animal, por el CENSA en 2015. Docencia e investigación en Epidemiología Veterinaria, con destacada contribución científica sobre enfermedades transmitidas por garrapatas en búfalos. Miembro de la Sociedad Cubana de Parasitología Veterinaria. Autor de más de 40 publicaciones científicas, con más de 180 en los últimos cinco años (h-index de 9). Revisor de varias revistas Indexadas, y miembro del cuerpo editorial de la sección “Ticks”, en la revista “Pathogens”. Recientemente ha expandido su perfil de investigación al enfoque “Una salud”. Doctorado en Biología en la Agricultura y el Ambiente, mención en Microbiología Ambiental, por la Universidad de Sao Paulo (USP), Brasil. Actualmente es posdoctorado en la Escuela de Ciencias Ambientales en la Universidad de Guelph, Canadá.

Dra. Silvia Adriana Olmos Hernández (México). Medica Veterinaria y Zootecnista por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) desde hace 20 años. Maestra en Ciencias de la Producción y Salud Animal, por la UNAM. Doctora en Ciencias Biológicas y de la Salud, en el Área de Endocrinología y Neurofisiología en modelos animales convencionales y no-convencionales, por la UAM. Profesora desde el año 2006 de la FMVZ de la UNAM y de la FMVZ de la UAM y actualmente profesora de la Escuela Superior de Rehabilitación del Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) “Luis Guillermo Ibarra Ibarra” (LGII). Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT en México (nivel I). Actualmente es Investigadora en la División de Biotecnología en el Área de Neurociencias en el INR LGII de la Secretaría de Salud en México.

Dr. Agustín Orihuela (México). Ingeniero agrónomo zootecnista por la Universidad Autónoma de Chapingo; con maestría y doctorado en Producción Animal por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); Postdoctorado de la Universidad de California, Davis en Comportamiento Animal (Estados Unidos). Actualmente Profesor titular de las cátedras de Bienestar Animal y de Comportamiento Animal en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT en México (nivel III). Es autor de más de 150 artículos científicos consignados en SCOPUS con 1300 citas y un h-index de 17. Las áreas de interés son la Reproducción, el Comportamiento y el Bienestar Animal.

Ing. Carlos Orozco Corrales (Costa Rica). Ingeniero Agrónomo Zootecnista de la Universidad de Costa Rica con una Especialidad en nutrición animal. Maestría en administración de empresas del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Profesor de producción y nutrición animal sostenible en la Universidad EARTH. Durante varios años se ha desempeñado como consultor en producción de ganado de leche y carne bajo sistemas del trópico, en Centroamérica y parte de Sudamérica. Es miembro de las mesas consultoras de diversos programas de producción animal sostenible y mercados de la carne para el gobierno de Costa Rica. Ha sido productor de ganado de carne bajo sistema silvopastoril en la región norte de Costa Rica.

Dr. José Luis Otero (Argentina). Profesor Asociado en la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Litoral (Argentina) en el área de tecnología e inocuidad de alimentos. Doctorado en Ciencias Veterinarias en la Universidad Nacional de La Plata. Es docente a cargo del dictado de las asignaturas Tecnología de Carnes y Microbiología de Alimentos, respectivamente. Ha participado en más de 15 proyectos de investigación en el área de inocuidad y tecnología de alimentos, especialmente carnes, con publicaciones nacionales e internacionales. Ha realizado una estancia pos-doctoral de 5 meses en el IRTA de Girona en bienestar y calidad de carnes, y estancias pos-doctorales en temas similares en Zaragoza y Madrid. Como docente de posgrado dirige y dicta el curso de doctorado “Tecnología de Carnes” en la Universidad Nacional del Litoral, Argentina.

Dr. Corrado Pacelli (Italia). Profesor asociado de la Escuela de Ciencia Agrícola, Forestal, Alimentaria y Ambiental (SAFE), Università degli Studi della Basilicata (UNIBAS). Italia. Tiene un doctorado en Ciencia Animal

(PhD) y obtuvo la Calificación Científica Nacional para ser Profesor de tiempo completo en 2019. Su actividad investigadora se centra principalmente en la alimentación, reproducción y bienestar de los búfalos. Es coautor de aproximadamente 80 artículos científicos en revistas nacionales e internacionales indizadas de alto impacto. Es miembro del consejo editorial de la revista científica "Journal of Buffalo Science" (Lifescience Global, Mississauga, Canadá).

Dr. José Ángel Pérez Álvarez (España). Licenciatura (Químico Fármaco Biólogo por la Universidad Nacional Autónoma de México); Licenciado en Farmacia (Ministerio de Educación y Ciencia, España); Master (Ciencia e Ingeniería de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia); Doctorado (Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Valencia). Profesor Catedrático de Universidad e Investigador responsable del Grupo Industrialización de Productos de Origen Animal (IPOA), Departamento de Tecnología Agroalimentaria, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH), España. Ha participado en actividades de docencia e investigación en carne y productos cárnicos crudo-curados en colaboración con grupos de investigación de Alemania, Argentina, Brasil, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Egipto, Francia, Israel, Italia, Lituania, Marruecos, México, Portugal, Reino Unido, Túnez. Participación en cursos de alimentos funcionales financiados por la Agencia de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), Ministerio de Asuntos Exteriores del Reino de España, Cursos de Desarrollo e Innovación de nuevos Productos en Ecuador. Miembro del cuerpo editorial de la revista "Foods".

Lic. Zoo. José Rodolfo Panim Ciocca (Brasil). Licenciado en Zootecnia por la Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias - UNESP – Campus Jaboticabal, Brasil. Experto en bienestar animal con amplia experiencia en la implementación de buenas prácticas de bienestar de aves, cerdos, bovinos y bufalinos. Actualmente es gerente en "Humane Sustainable Agriculture" de la "World Animal Protection Latinoamérica" en las esferas de sistemas sostenibles de producción animal y sacrificio humanitario en Brasil.

Dr. Prof. Armando Quintero-Moreno (Venezuela). Médico Veterinario (Universidad del Zulia, Maracaibo, Zulia, Venezuela), Magister en Producción Animal (Universidad del Zulia, Maracaibo, Zulia, Venezuela). Doctor en Producción Animal (Universidad Autónoma de

Barcelona, Bellaterra, Cataluña, España). Profesor Emérito del Departamento de Producción e Industria Animal y Coordinador del Laboratorio de Andrología de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia (Maracaibo, Zulia, Venezuela). Imparte clases de Fisiología Animal, Reproducción Animal y Sistemas de Producción Porcina en la Carrera de Medicina Veterinaria y de Fisiología de la Reproducción Animal, Andrología y Biotecnologías de la Reproducción en los programas de postgrado en Reproducción Bovina, Reproducción Animal y Producción Animal de la Universidad del Zulia. Autor de más de 100 artículos científicos sobre diferentes aspectos de reproducción animal. Además, es miembro del comité editorial de la revista "Journal of Veterinary Andrology" (Venezuela).

Dr. Efrén Ramírez Bribiesca (México). Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Maestro en Ciencias en Producción y Nutrición de Rumiantes, por la UNAM-UC Davis, California, Estados Unidos. Postdoctorados en Nutrición de Rumiantes en Raleigh, North Carolina, USA y Lethbridge Research Centre, Canadá. Desde hace más de 18 años es profesor investigador tiempo completo en el área de zootecnia y nutrición animal en el Colegio de Postgraduados, programa de Ganadería. Profesor asignatura en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Es autor de 10 capítulos de libro, relacionados con ciencia de los alimentos y calidad de carne de búfalo de agua. Sus temas de interés se relacionan con la fisiología y nutrición animal, nano y micro tecnología pecuaria y calidad de la carne. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT en México, Nivel 3.

Dr. Ramiro Ramírez-Necoechea (México). UNAM, ITEMS en México y PW University-USA. Miembro de la Academia Veterinaria Mexicana. Asesor de la FAO y ONUDI. Experto en Patología Forense Veterinaria. Por más de 46 años, se ha desempeñado como profesor investigador de Patología Clínica Veterinaria en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Campus Xochimilco. Su investigación está orientada hacia el bienestar animal en torno a las prácticas dolorosas ocasionadas a los animales de granja. Integrante de la Red Mexicana de Bienestar Animal.

Dr. Armando Adolfo Rayas Amor (México). Ingeniero Agrónomo Zootecnista, Maestro en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Doctor en Ciencias

de la Producción Animal, por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX). PhD por el Departamento de Agricultura, Universidad de Reading, Gran Bretaña. Desde hace 8 años es profesor investigador tiempo completo en el área de Ciencias de los Alimentos de la Unidad Lerma de la UAM. Actualmente está como encargado de la jefatura del Departamento de Ciencias de la Alimentación. Sus temas de interés se relacionan con la optimización de sistemas agropecuarios mediante modelos de programación lineal y no lineal, Ganadería sustentable y mitigación de gases de efecto invernadero en rumiantes y ganadería de precisión. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT en México. Nivel 1.

Dr. Poonooru Ravikanth Reddy (India). Veterinary Officer at the Department of Animal Husbandry, Government of Andhra Pradesh, India. Previously worked as Assistant Professor, LFC, Sri Venkateswara Veterinary University, India. Completed PhD in Animal Nutrition with specialization in ruminant nutrition (feed additives and slow-release urea) technique. He is a co-author of 40 National and International scientific articles and 6 International Book Chapters with an h-index of 10. Received two gold medals at University level and ten best presentation awards in various national conferences. His main fields of research are on probiotics, prebiotics, non-conventional feed resources, pasture management, ruminant nutrition, environment, stress physiology, digestive physiology, feed resources assessment, and dairy buffalo management. He is a reviewer for several national and international journals.

M. en C. MVZ. Brenda Reyes Sotelo (México). Maestría en Ciencias (M. Sc.) enfocada en evaluación del dolor, termografía infrarroja y bienestar animal, por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Cuenta con 10 publicaciones nacionales e internacionales en revistas indizadas a Scopus y Web of Science. Sus temas de interés son medicina y cirugía, eutanasia, dolor durante la muerte, reproducción y ginecología veterinaria. Práctica privada en clínica con más de 17 años de experiencia centrada en fisiología, clínica y patología.

Dr. Marcelo Raúl Rosmini Garma (Argentina). Médico Veterinario por la Universidad del Litoral. Master en Ciencias e Ingeniería de Alimentos y Doctorado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, por la Universidad Politécnica de Valencia, España. Actualmente pertenece al Departamento de Salud Pública Veterinaria. Facultad de

Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Litoral. Esperanza, Provincia de Santa Fe, Argentina.

Dr. Emilio Sabia (Italia). Asistente de investigación en la "Free University of Bolzano". Doctorado en Ciencias Pecuaras en el sector ganadero. Especialista en sistemas de cría e impacto ambiental. Es autor de más de 30 artículos científicos consignados en SCOPUS con 200 citas y un h-index de 10. Miembro del Consejo Editorial de la revista Journal of Buffalo Science, Editorial Lifescience Global, Canadá.

Dra. Juliana Sarubbi (Brasil). Medica Veterinaria por la Universidad Estatal de Londrina (UEL), Maestría y Doctorado en Ingeniería Agrícola por la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Estatal de Campinas (FEAGRI-UNICAMP), Brasil. Profesora del Departamento de Zootecnia y Ciencias Biológicas de la Universidad Federal de Santa María (UFSM) y Coordinadora del Laboratorio Ambiente y Bienestar Animal (UFSM). Autora de varios capítulos de termoneutralidad e identificación de cambios circulatorios dérmicos por medio de termografía infrarroja en búfalo de agua. Área de investigación: Ambiente y bienestar en animales de granja.

Dr. Francesco Serrapica (Italia). Doctor en Ciencias Agrícolas por la University of Naples Federico II. Doctor en Filosofía (PhD) en Ciencia Animal por la University of Basilicata. Especialista en Nutrición Animal. Actualmente, realiza una estancia de investigación posdoctoral en Nutrición Animal en el departamento de ciencias agrícolas en la University of Naples Federico II. Sus intereses de investigación se centran en fuentes de alimentación alternativas para rumiantes, la influencia de la alimentación animal en la calidad de los productos lácteos y la evaluación del impacto ambiental de la ganadería y las estrategias de mitigación.

Dra. Ana Carolina Strappini Asteggiano (Chile). Académica del Instituto de Ciencia Animal, Universidad Austral de Chile y Profesora Asociada de la Universidad Mayor, Chile. Obtiene su Master of Science y Doctorado (PhD) en Ciencia Animal en la Universidad de Wageningen (Wageningen, Países Bajos). Posteriormente realiza un Postdoctorado en la Universidad Austral de Chile, y una estancia post doctoral en la Universidad de British Columbia (Vancouver, Canadá). Es miembro del Programa de Bienestar Animal de la Universidad Austral de Chile, Centro Colaborador de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) para la Investigación sobre el

Bienestar de Animales Chile-Uruguay-México. Además es integrante del Comité de Bienestar Animal del Consorcio Lechero de Chile. Ha participado de numerosos proyectos de investigación siendo sus principales áreas de investigación el comportamiento y bienestar de especies productivas, realizando estudios sobre la evaluación del bienestar en sistemas productivos y uso de protocolos, comportamiento social de bovinos y enriquecimiento ambiental en terneros.

Dr. Raheel Suleman (Pakistán-China). Department of Food Science and Nutrition. Times Institute, Multan, Pakistán. Doctorado (Ph.D.) en Ciencia de la Carne y Tecnología. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, China.

M.V. Leonardo Thielo de La Vega (Brasil). Licenciado en Medicina Veterinaria por la Universidad Luterana do Brasil - ULBRA, con amplia experiencia en la industria de la carne de bovinos, pollos, pavos y cerdos. Fundador de las empresas F&S Consulting, brStart y Cibit. Pionero y gestor de la certificación de bienestar animal "Produtor do Bem". Actualmente es profesor de posgrado en UNOESC y miembro del Cuerpo Técnico de Facta y World's Poultry Science Association en Brasil.

Dr. Rodolfo Ungerfeld (Uruguay). Es egresado de la Universidad de la República, donde además realizó una Maestría en Fisiología. Posteriormente realizó un Doctorado (PhD) en la Universidad Sueca de Ciencias Agrarias (SLU), en Uppsala, Suecia. Se desempeña como Profesor Titular de Fisiología en la Facultad de Veterinaria (Universidad de la República, Uruguay). Trabaja en temas de reproducción y comportamiento en rumiantes, siendo autor de más de 200 artículos en revistas científicas y varios capítulos de libro en 2020. Es investigador del nivel III del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de su país, y miembro de los cuerpos editoriales de Animal, Animal Production Science, Theriogenology, Acta Veterinaria Scandinavica, Tropical Animal Health and Production y Veterinaria (Uruguay). Ha participado en actividades de investigación y enseñanza en colaboración con grupos de investigación de Argentina, Brasil, Chequia, Chile, España, Francia, Japón, México, Turquía y Venezuela, dictado cursos y/o dirigido estudiantes de posgrado de varios de esos países.

Dr. MV. Robert Valeris-Chacin (Estados Unidos). Médico Veterinario (Universidad del Zulia, Maracaibo, Zulia, Venezuela), Magister en Inmunología (Universidad del Zulia, Maracaibo, Zulia, Venezuela). Actualmente se

desempeña como Asistente de Investigación y Estudiante de Doctorado en el Departamento de Ciencias Veterinarias y Biomédicas del Colegio de Medicina Veterinaria de la Universidad de Minnesota (Saint Paul, Minnesota, Estados Unidos). Profesor en la Cátedra de Infectología Veterinaria del Departamento de Sanidad Animal y Salud Pública de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia (Maracaibo, Zulia, Venezuela). Autor de más de 20 artículos científicos sobre diferentes aspectos de la salud y reproducción en rumiantes. Miembro del comité editorial de la revista "Journal of Veterinary Andrology" (Venezuela).

Dr. Manuel Viuda Martos (España). Ingeniería Técnica (Ingeniero Técnico Agrícola, especialidad en Industrias Alimentarias, Universidad Miguel Hernández de Elche-UMH); Ingeniero Agrónomo (UMH); Licenciado en Ciencia y Tecnología de Alimentos (UMH); Master en Tecnología y Nutrición de la Dieta Mediterránea-UMH); Doctor por la UMH (Programa en Ciencias y Tecnologías Agrarias y Alimentarias-UMH). Profesor Titular de Universidad. Ha participado en actividades de investigación y enseñanza en colaboración con grupos de investigación de Alemania, Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Egipto, Francia, Israel, Italia, Lituania, Marruecos, México, Portugal, Reino Unido. Cursos de Desarrollo e Innovación de Nuevos Productos en Ecuador. Es autor de más de 110 artículos científicos consignados en SCOPUS con más de 5000 citas y un h-index de 38. Miembro del cuerpo editorial de la revista "Food Research International".

MRA. MV. Simón Zambrano-Salas (Venezuela). Médico Veterinario (Universidad Centro-Occidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Lara, Venezuela). Estudiante de Maestría en Reproducción Animal (Universidad del Zulia, Venezuela). Profesor adscrito al Departamento de Ciencias Agrarias, Núcleo Universitario Alberto Adriani (NUAA), Universidad de los Andes (El Vigía, Mérida Venezuela) en el que imparte clases de Zoología y Producción Animal. Asesor en Salud y Reproducción en diversas unidades de producción ganadera en la región Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

Tercera Edición

Agradecimiento Especial por las ilustraciones, diagramas, fotos, y/o dibujos a: Aldo Bertoni, Marcelo Ghezzi, Diego Morales Canela, Fabio Napolitano, Sucel Molina, Ana María Duarte, Daniel Mota, Jesús Berdugo, Jocelyn Gómez, Karina Lezama, Fabiola Torres y Nancy José.

Galería de Arte del Búfalo de Agua

Una mención y agradecimiento especial para el pintor **Alex Cuibus** de Rumania, por el toque artístico de sus pinturas al óleo de búfalos de agua, plasmadas en la Galería de arte que a continuación compartimos y también estampadas en cada una de las portadas de las cinco secciones del libro.

River Buffalo Art Gallery



1



2



3



4



5



6



7



8

1. *Saint John*, 60 x 60cm, oil on canvas, 2016.
2. *Xu Fu*, 100 x 150cm, oil on canvas 2018.
3. *The rider*, 50x50 cm, oil on canvas, 2016.
4. *Water buffalo*, 50x70 cm, oil on canvas, 2013.
5. *Vicit Indra*, 90 x 140 cm, oil on canvas, 2019.
6. *Saint Lawrence*, 100 x150 cm, oil on canvas, 2018.
7. *Golden ox*, 20x25 cm, oil on canvas, 2018.
8. *The bronze bull*, 50x50 cm, oil on canvas, 2020.

Paintings by **Alex Cuibus**

PhD-student in Fine Art. Romania





<https://www.lifescienceglobal.com/journals/journal-of-buffalo-science>

About the Journal

Focus and Scope

The Journal of Buffalo Science is a peer-reviewed veterinary journal covering all aspects of veterinary sciences relating to buffaloes. The journal publishes high quality original articles, review articles, case reports and short communications as well as other scientific and educational articles. The journal facilitates the distribution and implementation of new ideas and techniques relating to clinical veterinary practice, with the ultimate aim of promoting the best practices. The journal is an essential reading for veterinarians primarily engaged in Buffalo related veterinary sciences.

Peer Review Process

All submitted manuscripts are read by the members of editorial office. To save time for authors and peer-reviewers, only those papers that seem most likely to meet our editorial criteria are sent for formal peer review. Those papers judged by the editors to be of insufficient general interest or otherwise inappropriate are rejected promptly without external review.

Manuscripts judged to be of potential interest to our readership are sent for formal review, typically to two or three reviewers. The editors then make a decision based on the reviewers' advice, from among several possibilities:

- Accept as it is
- Accept with minor changes
- Accept with major changes, inviting the authors to revise their manuscript to address specific concerns before a final decision is reached
- Reject

Publication Frequency

Journal is published biannually with issues in March and September.

Indexed and Abstracted in

OC LC (WorldCat), World Health Organization – HINARI, Open J-Gate, Google Scholar, Genamics JournalSeek, EZB Nutzeranfragen, AGORA



Indexed in:

Scopus[®]
CiteScore[™]

Editor-in-Chief : Fabio Napolitano (Italy)





ÍNDICE

Sección I. DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y OPCIONES DE DESARROLLO

CAPÍTULO 1

Opciones de desarrollo de los sistemas de producción de búfalos de agua de doble propósito en el trópico húmedo latinoamericano	31

CAPÍTULO 2

La producción de búfalos de agua en el trópico húmedo de América Latina: análisis bajo una visión agroecológica.....	63

CAPÍTULO 3

Comportamiento y bienestar de la búfala lechera.....	94

CAPÍTULO 4

La carne de búfalo de agua en las Américas: retos y oportunidades.....	131

CAPÍTULO 5

Productividad de los búfalos de agua y sus expectativas de desarrollo en zonas tropicales	166

CAPÍTULO 6

Aspectos zootécnicos y morfofisiológicos: Estudio comparativo entre búfalos de agua y ganado bovino convencional.....	208

ÍNDICE

CAPÍTULO 7

La búfala de agua en la producción de leche: una visión internacional..... 256

CAPÍTULO 8

El búfalo de agua en la producción de carne: una visión internacional..... 308

CAPÍTULO 9

Los animales de trabajo: actores anónimos en el medio rural..... 359

Sección II. ASPECTOS REPRODUCTIVOS:

Perinatología, ginecobstetricia, impronta, destete y ordeño

CAPÍTULO 10

Factores intrínsecos que afectan el desempeño reproductivo de la búfala de agua..... 401

CAPÍTULO 11

Factores extrínsecos que afectan el desempeño reproductivo de la búfala de agua..... 449

CAPÍTULO 12

El parto y ordeño de la búfala de agua: respuestas fisiológicas y conductuales..... 492

CAPÍTULO 13

Perinatología y ginecobstetricia de la búfala de agua..... 535

ÍNDICE

CAPÍTULO 14

Mortinatos en la búfala de agua: factores de riesgo fetal y materno..... **564**

CAPÍTULO 15

La impronta en la búfala y otros animales de granja: mecanismos
neurofisiológicos..... **591**

CAPÍTULO 16

Ruptura del vínculo madre-cría sin detrimento de la productividad y bienestar
animal en ganado cebú y búfalo de agua: consejos prácticos y novedosos..... **649**

CAPÍTULO 17

Ventanas térmicas en el búfalo de agua: aspectos prácticos para la valoración
reproductiva **689**

CAPÍTULO 18

Anatomofisiología de la glándula mamaria: neuroendocrinología de la eyección
láctea en la búfala de agua **720**

CAPÍTULO 19

Ventajas y desventajas de los sistemas de ordeño manual y mecánico:
productividad, bienestar animal y rentabilidad **772**

ÍNDICE

Sección III. SALUD, TERMORREGULACIÓN Y AMBIENTE

CAPÍTULO 20

"Hallazgos recientes del proceso salud-enfermedad en búfalo de agua (<i>Bubalus bubalis</i>)" Enfermedades Virales.....	809

CAPÍTULO 21

"Hallazgos recientes del proceso salud-enfermedad en búfalo de agua (<i>Bubalus bubalis</i>)" Enfermedades bacterianas y parasitarias.....	862

CAPÍTULO 22

Termorregulación del búfalo de agua: mecanismos neurobiológicos, cambios microcirculatorios y aplicaciones prácticas de la termografía infrarroja.....	922

CAPÍTULO 23

Bienestar del búfalo de agua, bovino europeo y bovino índico: aspectos medioambientales, fisiológicos y conductuales en respuesta a la sombra natural y artificial.....	959

CAPÍTULO 24

Interflujos entre la ganadería y el cambio climático: una exploración documental	1016

ÍNDICE

Sección IV. CALIDAD DE MUERTE Y SENSIBILIDAD AL

DOLOR

CAPÍTULO 25

Calidad del aturdimiento en búfalos: Reflejos y signos de retorno a la sensibilidad durante la muerte	1072

CAPÍTULO 26

¿Cómo evaluar la calidad de la muerte en búfalos y reses? Aspectos neurobiológicos	1116

CAPÍTULO 27

Estresores previos a la muerte y su efecto en la calidad de la carne del búfalo de agua.....	1178

Sección V. CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

CAPÍTULO 28

Propiedades físicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua.....	1235

CAPÍTULO 29

Calidad de la carne de búfalo de agua: Análisis nutricional, sensorial e inocuidad, conservación, empaque y autenticidad.....	1278

ÍNDICE

CAPÍTULO 30

Propiedades fisicoquímicas de la leche de búfala..... **1319**

CAPÍTULO 31

Queso mozzarella: inocuidad, adulteración, comercialización y perspectivas a futuro..... **1346**

CAPÍTULO 32

Tecnologías emergentes para mejorar la carne y con potencial de uso en la industria del búfalo de agua..... **1393**

CAPÍTULO 33

Aplicación del ultrasonido de alta intensidad en la industria cárnica..... **1452**

Cuarta de forros 1505



SECCIÓN I

DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y OPCIONES DE DESARROLLO



Water buffalo. 50x70 cm.

Oil on canvas, 2013.

By Alex Cuibus

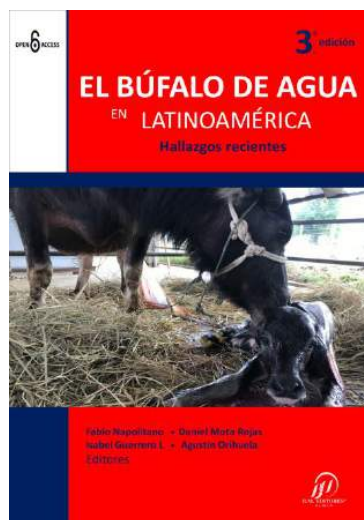
Bienestar Animal: Carne, leche y labores rurales



CAPÍTULO 1

OPCIONES DE DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BÚFALOS DE AGUA DE DOBLE PROPÓSITO EN EL TRÓPICO HÚMEDO LATINOAMERICANO

Adolfo Álvarez-Macías, Daniel Mota-Rojas, Aldo Bertoni y José Luis Dávalos-Flores



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3^a. Edición

CAPÍTULO 1

Opciones de desarrollo de los sistemas de producción de búfalos de agua de doble propósito en el trópico húmedo latinoamericano

Adolfo Álvarez-Macías¹, Daniel Mota-Rojas¹, Aldo Bertoni¹ y José Luis Dávalos-Flores²

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México.

²Departamento de Economía, Administración y Desarrollo Rural. FMVZ. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

1. INTRODUCCIÓN

Las regiones tropicales de Latinoamérica figuran entre los últimos espacios en colonizarse, incluso existen porciones amazónicas que actualmente están inmersas en ese proceso. Incorporar estas áreas ha favorecido el desarrollo económico de la región, sin embargo, ello ha implicado costos, principalmente sociales y ecológicos, pues generalmente se ha efectuado a costa de la destrucción de la dinámica de grupos sociales y de uno de los ecosistemas más complejos y, a la vez, frágiles, que representan las selvas tropicales. Ante ello, se vienen fomentando estrategias de manejo sustentable para preservar y, en su caso restaurar, este tipo de ecosistemas y respetar las lógicas de los grupos sociales que los han habitado históricamente.

En esa línea resulta indispensable considerar la actividad pecuaria, que ha encontrado en las regiones tropicales un medio propicio para su



desarrollo, especialmente desde la segunda mitad del siglo pasado hasta la fecha. Una de las características de esta expansión ganadera ha sido su falta de planeación y, por ende, del desconocimiento de las características básicas de estas áreas, lo que ha impedido que se hayan implementado estrategias de desarrollo sustentable. En este desarrollo ganadero los vacunos (género *Bos*) han figurado como protagonistas y con base en ellos se ha modelado el sistema de doble propósito orientado a la obtención simultánea de carne y leche, que ha respondido a la necesidad de aumentar la oferta de estos productos para sostener procesos de desarrollo industrial, así como los de urbanización en prácticamente todos los países de la región.

Esta complejidad del sistema de doble propósito se ha heredado en gran medida a los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*), de reciente incorporación a los trópicos latinoamericanos, que van tomando fuerza gracias a su rusticidad y versatilidad, sobre todo en las porciones más húmedas, demostrado su eficiencia productiva, adaptación a esquemas de producción sustentable y calidad en sus productos tanto en leche como en carne (Alarcón-Rojo et al., 2020; Barboza, 2011; Caraballos et al., 2011; Bertoni et al., 2019a,b; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c,d,e; Mota-Rojas et al., 2020a,b; Napolitano et al., 2020).

Bajo esta lógica, en el presente capítulo se exponen elementos para comprender la importancia y dinámica de las áreas tropicales latinoamericanas en función las características físico-bióticas y las opciones para el desarrollo de los sistemas de producción de doble propósito de búfalos de agua, bajo una lógica sustentable y que permita

mejorar el nivel de vida de los productores. Para ello, se procedió a una amplia revisión bibliográfica, que ha permitido caracterizar las zonas tropicales, el sistema de doble propósito, los esquemas de gestión de los mismos y la construcción de canales comerciales que se consideran necesarios para consolidar modelos de producción sustentables.

2. LA REGIÓN TROPICAL: UN ESPACIO PROPICIO PARA EL DESARROLLO DE LOS BÚFALOS

Las regiones tropicales se han distinguido por su riqueza natural, a partir de la cual se he pretendido transformarla en riqueza económica, teniendo a la ganadería como una de sus principales actividades productivas. Sin embargo, la complejidad de estos ecosistemas no ha sido plenamente entendida para propiciar un manejo adecuado y por ello se han generado obstáculos mayores al desarrollo pecuario, que han derivado en una productividad reducida y, en sentido contrario, en una eliminación de amplias áreas selváticas. En particular, no ha sido posible generar y transferir modelos tecnológicos apropiados a la diversidad del trópico y, más bien, se han intentado transferir modelos tecnológicos de las zonas templadas, que se han revelado insuficientes para obtener los beneficios deseados (Quero et al., 2018; Gonzalez et al., 2018).

En el caso concreto de la ganadería en las regiones tropicales ha supuesto una fuerte presión para las áreas selváticas, las cuales se han reducido drásticamente y se han reemplazado en muchos casos por zonas de pastoreo, aunque otras actividades y eventos relevantes

también han contribuido en ese sentido, como las actividades agrícolas, mineras, petroleras e incendios, entre otras que han impactado considerablemente estos ecosistemas.

Para que los búfalos puedan desarrollar su potencial en estos ecosistemas tropicales manteniendo el equilibrio ecológico de los mismos, resulta esencial conocer sus características principales, las cuales son sin duda más que destacadas, sin embargo, también detenta otras que exigen una gestión de los sistemas productivos para atenuar efectos como la disponibilidad estacional y baja calidad nutricional de forrajes durante parte del año, por efectos de las épocas de sequías y ciclones (*nortes*) en México, así como la proliferación de algunas plagas y enfermedades, entre otras limitantes (Quero et al., 2018).

2.1. Aspectos físico-bióticos

Las regiones tropicales se sitúan entre los trópicos de cáncer y capricornio y poseen características distintivas en cuanto a latitud, altitud, temperatura y precipitación (Connor et al., 2013). Los trópicos se encuentran entre el ecuador y los 25° de latitud en los hemisferios norte y sur y predominan en las zonas costeras que se ubican desde el nivel del mar y se elevan hasta altitudes de aproximadamente 800 msnm. Lo anterior supone que la luz solar llega de manera casi directa a esta región y, por ello, la temperatura a lo largo del año es comparativamente alta y sin grandes oscilaciones a lo largo del año, representando uno de los principales causantes de que exista alta

capacidad fotosintética y, por ende, vegetación abundante (Cusack et al., 2016).

Su ubicación geográfica también favorece que las corrientes de humedad se viertan frecuentemente sobre sus áreas, con precipitaciones que suelen superar los 1,000 mm, pero generalmente fluctúan entre los 2,000 y 3,000 mm y pueden rebasar los 4,000 mm en las partes con mayor precipitación; la humedad relativa oscila entre 77 y 88 por ciento (Connor et al., 2013; Cusack et al., 2016). En las regiones tropicales las temperaturas promedio se mantienen entre los 24 y 27°C durante todo el año con reducidas fluctuaciones entre meses y entre años (Res et al., 2014). Del calentamiento dominante emana la formación de cúmulos y cumulonimbos que incentiva la actividad de tormentas eléctricas frecuentes (Connor et al., 2013).

De manera pragmática se reconocen dos partes del trópico, por un lado el seco que corresponden al clima Aw en la clasificación de Köppen, que es cálido subhúmedo con lluvias en verano, hasta el denominado trópico húmedo, Af, es decir, cálido húmedo con lluvias todo el año (Connor et al., 2013). Sobre este último clima es que se centra el potencial de los búfalos que se destaca en este documento y que, en el caso de México comprende desde el sur de Veracruz, hasta Campeche, pasando por Tabasco y tomando la parte norte de Chiapas. Este clima también impera en amplias zonas de Centroamérica, como en Costa Rica, Panamá, y más al sur, en amplias porciones de Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y Brasil, principalmente (Patiño et al., 2016; González et al., 2018).

Los suelos del trópico suelen ser relativamente delgados, dado el acelerado ciclo de los nutrientes entre suelo y vegetación, que gracias al metabolismo de esta última absorbe buena parte de los nutrientes, aunque los reintegra rápidamente al suelo a través del abundante material vegetal muerto, que sirve para dotarlos de materia orgánica. En efecto, estos suelos originalmente son muy fértiles y, por ello, en sus primeros años permiten altos rendimientos de forrajes y cultivos agrícolas, los cuales no son fáciles de mantener en el tiempo, dado que se rompen los ciclos acelerados que propiciaba la vegetación natural (Muñoz et al., 2016). De cualquier forma, se trata de suelos que por ser ricos en arcilla y materia orgánica suelen retener altos niveles de humedad y en las épocas de más lluvias tienden a ser pantanosos y, en casos más extremos, a convertirse en cuerpos de agua, al menos de manera temporal (Cusack et al., 2016). Estas últimas zonas son donde los búfalos de río encuentran un medio propicio para su desarrollo, ya que estos animales las utilizan como fuentes de regulación de temperatura (Napolitano et. al., 2020) como se ha demostrado en distintos países como Argentina, Costa Rica y Colombia (Patiño et al., 2016).

Debido a las características anteriores, la vegetación natural en los trópicos es de tipo selvático, con vegetación alta perennifolia en el trópico húmedo y media y baja y subcaducifolia y caducifolia en la parte más seca (Connor et al., 2013). En las zonas planas y de lomeríos se han desarrollado una gran variedad de pastizales que, por efectos antropogénicos, han sido invadidos por especies de origen africano

como el Estrella de África, Guinea y Pangola entre otros, gracias a su crecimiento espolonífero y que se distinguen por ser gramíneas C4, es decir, plantas capaces de llevar a cabo el proceso fotosintético aún en ambientes de altas temperaturas, lo que repercute en pastos de cuantiosa biomasa y alto rendimiento de materia verde por hectárea, aunque su rendimiento en materia seca y valor bromatológico sea moderado (Muñoz et al., 2016).

En resumen, en comparación con las zonas templadas, los trópicos húmedos se caracterizan por mayores aportes de energía en forma de flujos de vapor de agua, precipitación más intensa, meteorización rápida de material inorgánico y orgánico y la introducción de grandes volúmenes de agua y sedimento. Los flujos de agua, sólidos y carbono orgánico también muestran tasas y magnitudes proporcionalmente mayores (Connor et al., 2013). Esto deriva en que la oferta forrajera sea abundante, como se describe en el siguiente apartado, y que haya fungido como uno de los principales incentivos para la expansión y consolidación de la ganadería tropical, en la cual los búfalos empiezan a figurar con perspectivas promisorias, dada su capacidad de adaptación a estos ambientes. Para que todo este ensamble funcione es necesario que se considere una adecuada planeación de los sistemas de producción y su desarrollo se armonice con las características de estos ecosistemas (Patiño et al., 2016).

2.2. Los recursos forrajeros del trópico y su potencial subutilizado

En los trópicos se identifica una gran variedad de especies forrajeras, que tiende a ampliarse cada vez más, dado que se han venido introduciendo nuevas variedades, tanto nacionales como importadas, que de paso han elevado considerablemente su potencial productivo. En efecto, a la predominancia de pastos nativos más los inducidos de origen africano que persisten a la fecha en amplias áreas de la región, se han incorporado nuevas especies como las de los géneros de las *Brachiarias* y los *Pennisetum*, que están favoreciendo productividades forrajeras incrementadas que suelen repercutir en mayor rendimiento ganadero, especialmente si se incluyen en sistemas de pastoreo rotacional, que se han implementado con mayor fuerza en los últimos años (Quero et al., 2018).



Figura 1. Sistemas de producción de búfalo en el trópico húmedo bajo pastoreo de especies forrajeras tropicales.

Se han mantenido forrajes como el Estrella Africana (*Cynodon plectostachyus*), Guinea (*Panicum maximum*), Alemán (*Echinochloa polystachya*) y Bermuda (*Cynodon dactylon*), entre otros que experimentaron una enérgica expansión desde los años 1960. Sin embargo, paulatinamente se han identificado y mejorado otras especies como las del género *Brachiaria*, entre los que se cuentan el Pará (*Brachiaria mutica*), Chetumal (*B. humdicola*) y más recientemente, el Mulato (*B. híbrido*). Se cuentan otros como el Llanero (*Andropogon gayanus*), Buffel (*Cenchrus ciliaris*) los *Penissetum* como el Taiwan (*P. purpureum*), siendo este último de corte dado que tiene porte erecto y suele rebasar dos metros de altura. También se contabilizan algunas leguminosas rastreras como la Tehuana (*Clirotia ternatea*) y Jarocho (*Pueraria phaseoloides*), que en sistemas mejorados se suelen asociar con gramíneas, ofreciendo una mezcla forrajera más palatable y, en especial, con mayor porcentaje de proteína cruda, así como con mejor digestibilidad. También se pueden anotar algunas variedades de leguminosas arbóreas para los sistemas silvopastoriles como las acacias y las leucaenas (Muñoz et al., 2016).

Esta gran variedad de especies responde de diferente manera en los variados microclimas del trópico, según el tipo de suelo, humedad, temperatura, así como el nivel de incidencia de plagas y enfermedades, entre otros aspectos (Walters et al., 2016) pero todos permiten cargas animales que suelen oscilar entre 1 y 3 UA/ha, que son valores muy competitivos respecto a otros climas y otros sistemas con baja o mediana incorporación de tecnología y de capital.

En la mayoría de las zonas tropicales, las tasas de crecimiento de las diferentes especies forrajeras están asociadas con la distribución estacional de la precipitación y temperatura a través del año; la producción de forraje excede normalmente los requerimientos nutritivos del ganado durante la época de lluvias cuando las tasas de crecimiento de los forrajes alcanzan su pico máximo (Muñoz et al., 2016). En contraste, la producción total y las tasas de crecimiento durante el periodo de secas (invierno y principios de primavera) generan baja oferta forrajera para el ganado en pastoreo (Quiroz et al., 2015).

Lo anterior implica que la mayoría de los productores deben delinear estrategias para gestionar estos recursos de manera óptima, con esquemas de conservación (ensilaje o henificado), de suplementación alimenticia, de sistemas de pastoreo rotacional y agrosilvopastoriles (González et al., 2018) para responder estratégicamente a la estacionalidad de la oferta forrajera, tanto en cantidad como en calidad, que se deben complementar con la estimación de cargas animales adecuadas, así como con óptimos períodos de ocupación y descanso de las células de pastoreo. De hecho, en la gestión de estos sistemas de producción de búfalos de doble propósito es conveniente acentuar el manejo planificado de las áreas de pastoreo, ya que esta especie ha demostrado buena adaptación a los modelos intensivos y agrosilvopastoriles, registrando rendimientos superiores que los vacunos (Iglesias et al., 2019).

Otra posibilidad experimentada en distintos ámbitos radica en recurrir a los árboles forrajeros, aprovechando los nativos o estableciendo especies adaptables a medios específicos, de manera planificada para distribuirlos adecuadamente, sea como cercos vivos, sea como fuentes de sombra que es prácticamente indispensable para el desarrollo de los búfalos, especialmente cuando la disposición de charcas es escasa o, de plano, ausente (Marai y Haebe, 2010). La planeación para establecer los árboles es creciente en sistemas de pastoreo rotacional y debe considerar especies que se adapten al clima tropical y al *ramoneo* de los búfalos. Esta práctica, además de contribuir al bienestar y alimentación de los búfalos, asiste en la recuperación de suelos, retención de humedad y mejorar la fertilidad, además de favorecer la regulación de la temperatura ambiental (Iglesias et al., 2019).

Para aprovechar arbustos y árboles resulta vital contar con información del medio (clima, suelos, etc.) para que su desarrollo biológico y forrajero cumpla las funciones indispensables en el sistema productivo y, más particularmente, en el sistema de pastoreo a lo largo del año, tratando de que mediante la rotación y el cálculo de cargas animales se programen períodos de pastoreo y descanso de las diferentes células en que se decida o pueda dividir un terreno. Las ventajas de este manejo para el caso concreto de los búfalos tienen evidencias relevantes (Bagella et al., 2020; Barboza, 2011; Caraballos et al., 2011) que invitan a explorar con más énfasis estas vías, considerando que tienen altas posibilidades de elevar el bienestar animal, la sustentabilidad

ambiental, la productividad por animal, así como la rentabilidad de las unidades productivas (Iglesias et al., 2019).

3. EL SISTEMA DE DOBLE PROPÓSITO EN BÚFALO

Como se esbozaba en párrafos anteriores, el sistema de doble propósito tiene la facultad de aportar carne y leche al mismo tiempo, bajo un principio de flexibilidad (González et al., 2018) ya que se pueden priorizar la leche (caliente, fría o a través de productos transformados) o carne, entendiendo esta última como crías en pie, animales de media engorda, finalizados e, incluso, animales de desecho (Cuevas-Reyes y Rosales-Nieto, 2018). Esta posible priorización depende de las necesidades de la familia del ganadero, pero también de las potencialidades de los recursos disponibles e, incluso, de las opciones que ofrece el mercado en cada zona específica.

Bajo esa lógica se han involucrado en los últimos años los búfalos de agua, que se han revelado como una alternativa ganadera excepcional en zonas tropicales ya que ofrece la opción de desempeñarse en zonas con alta temperatura y humedad, aprovechar plantas C4 de baja calidad y desempeñarse en suelos delgados con total o parcial inundación (Bertoni et al., 2019a,b; Bertoni et al., 2020a,b; Mota-Rojas et al., 2020). En estas condiciones el búfalo tiene la capacidad de convertir la abundante vegetación de moderada calidad en carne y leche de alto valor nutricional, ya que la leche y la carne presentan características específicas que pueden aprovecharse en mercados diferenciados y

alcanzar precios competitivos (Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b; Cruz-Monterrosa et al., 2020). Para ello, en países que han introducido recientemente a la producción bufalina de doble propósito (Bertoni et al., 2020a), han reestructurado y organizado canales comerciales que permite a los consumidores obtener productos de buena calidad y a los ganaderos una compensación adecuada respecto al esfuerzo realizado.

Bajo estas biocondicionantes de oferta forrajera considerable, aunque no siempre de la mejor calidad, se han conformado en un largo proceso de gestación los sistemas de producción de ganado de doble propósito basados en pastoreo y con suplementación reducida, adaptados a las exigentes condiciones climáticas de alta temperatura y humedad que han mejorado su eficiencia general y los beneficios de los productores (Bertoni et al., 2019a,b).

De manera general, el término de sistemas de producción de doble propósito alude a un conjunto de elementos interdependientes que se organizan para obtener leche y carne. En estos sistemas se privilegia la sustentabilidad económica y ambiental, antes que la ganancia máxima (Cuevas-Reyes y Rosales-Nieto, 2018; Mota-Rojas et al., 2019a,b; Mapolitano et al., 2020). En este contexto los animales se adaptan a las condiciones que derivan de la interacción de los procesos físicos y bióticos de su propio organismo y el entorno que los rodea. Por ello, la fisiología, el comportamiento y la salud de los animales son decisivos para definir su nivel de productividad y desempeño económico (Granados-Rivera et al., 2019).

En función de la ubicación de las fincas y su acceso a recursos forrajeros, cercanía a mercados, dotación de capital y mano de obra, entre otros determinan que el sistema priorice la leche o la carne en sus diferentes modalidades (Cuevas-Reyes y Rosales-Nieto, 2018). De manera particular, este sistema responde a la dotación de recursos forrajeros, de manera que cuando éstos son abundantes se prioriza la producción láctea asociada a la engorda o viceversa. Cuando, al contrario, escasean de manera permanente o estacional los forrajes se puede contraer la ordeña de manera estacional, al igual que el proceso de engrasamiento para vender crías al destete o animales de media engorda (figura 2), de tal suerte en no incurrir en compra de alimentos que suelen ser costosos y no necesariamente recuperables al momento de comercializar los productos (Albarrán-Portillo et al., 2015).

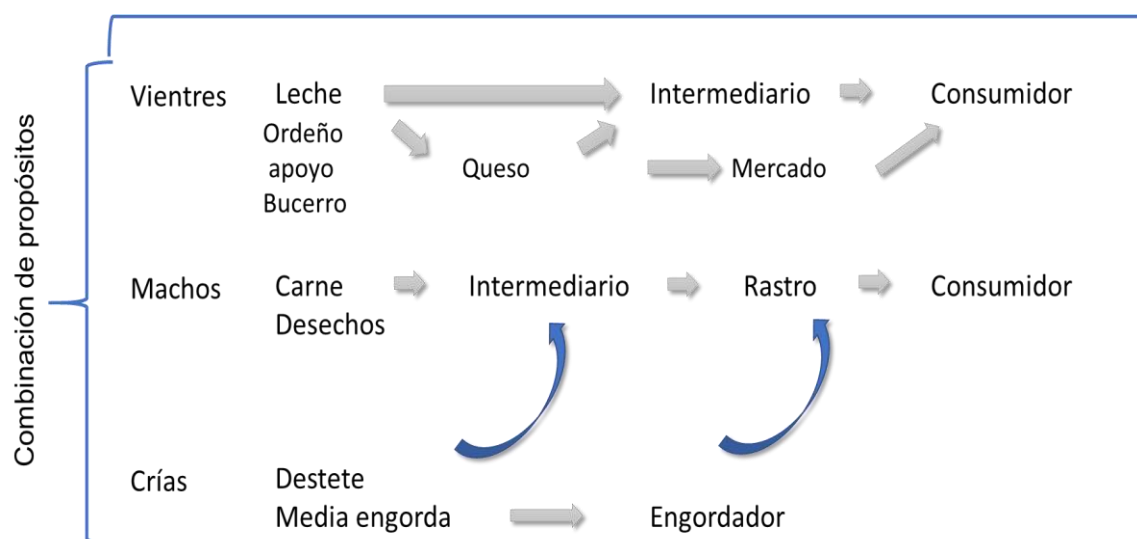


Figura 2. Racionalidad de los sistemas de producción de doble propósito de búfalos de agua

Un elemento que ha caracterizado a este sistema de doble propósito en vacunos ha sido la cruce de sangre cebú y europea, para asociar resistencia al medio como potencial productivo, que en el caso de los búfalos es menos complicado, pues varias de las razas disponibles cubren adecuadamente ambos requisitos, con la gran ventaja de que pueden ocupar zonas pantanosas e inundadas y aprovechan la vegetación que se desarrolla en las mismas, lo que rara vez ocurre con los bovinos (Barboza, 2011; Bertoni et al., 2019a,b; Bertoni et al., 2020a,b; Mota-Rojas et al., 2020).

De esta forma y teniendo al menos dos productos con los cuales concurrir al mercado se pueden aminorar los riesgos económicos de variación de precios e, incluso, cuando convenga priorizar leche o carne según la disponibilidad de clientes, las condiciones contractuales que ofrecen y el tipo de precios se puede dar preferencia a un producto a costa del otro o viceversa (por ejemplo, limitando o aumentando la disponibilidad de leche para las crías) (Albarrán-Portillo et al., 2015). Este tipo de decisiones también opera cuando se presentan condiciones de sequía, inundaciones, plagas, enfermedades u otros eventos que son frecuentes en los climas tropicales y que puedan influir en la salud, bienestar y productividad del hato. Es en ese sentido que este sistema es por un lado flexible y, por otro, un sistema que minimiza los riesgos que suelen atentar contra su sostenibilidad (Holt et al., 2016).

En síntesis, los sistemas de producción de doble propósito representan ensambles complejos de procesos y prácticas de sinergia o compensación; pueden adoptar frecuentes cambios que permitan adaptar o evolucionar el arreglo de factores con la finalidad de conseguir objetivos utilizando la menor cantidad de recursos posibles, sobre todo los escasos como el capital, restaurando y gestionando la regulación natural del agroecosistema para no perturbar los servicios ecosistémicos (Lacombe et al., 2018). Una imagen de la compleja configuración del sistema de doble propósito de búfalos se aprecia en la Figura 3, en la cual se identifican los insumos en el extremo izquierdo, los procesos en medio, muy vinculados al suelo y a la vegetación y en el extremo derecho los productos, así como los efectos de retroalimentación que dan continuidad y sostenibilidad al sistema.

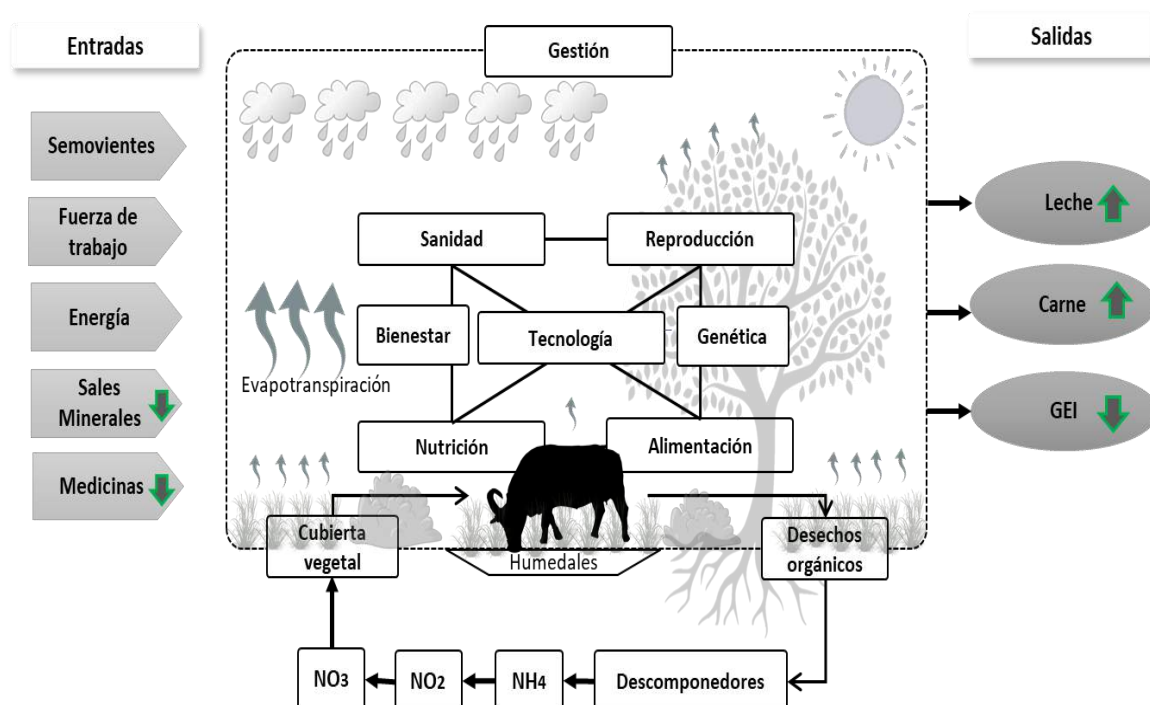


Figura 3. Concepción agroecológica de los sistemas de producción de búfalos de agua de doble propósito en condiciones del trópico húmedo.

Para aprovechar las experiencias de sistemas pecuarios, se han recomendado actividades diversificadas, con animales domésticos y especies vegetales que sean complementarios entre sí y que no perturben los servicios ambientales (González et al., 2018). A la par, agregar valor a los productos, por ejemplo, a través de los derivados lácteos (que en el caso de los búfalos son muy cotizados), es otra vía para mejorar el desempeño de estos sistemas. Con estas opciones, el búfalo de agua podría representar una alternativa a los lineamientos de la agroecología como a las condiciones de los trópicos húmedos, gracias a su adaptación y sinergismo con los recursos disponibles.

4. LA GESTIÓN DE UN SISTEMA BUFALINO

Como aspecto prioritario se debe considerar que estos sistemas productivos son conducidos socialmente, por productores y sus familias en los límites de las unidades productivas y más ampliamente por grupos que inciden a través de políticas públicas, mercadeo, proveeduría e industrialización, entre otras. Además, estos sistemas deben responder a diferentes criterios, siendo uno fundamental el de rentabilidad en el corto y largo plazos, así como priorizar tecnologías de bajo impacto sobre los recursos naturales (Arango et al., 2020; Bonaudo et al., 2014).

Lo anterior implica que la gestión debe contemplar varios aspectos, en primer lugar, garantizar la gestión del territorio, asegurando que se aproveche racionalmente, que se conserve con suficiente cobertura

vegetal, con fuentes de agua sin agotarlas o contaminarlas, fomentar la persistencia de los diferentes estratos de vegetación, en especial, la distribución estratégica de los árboles (Röhrig et al., 2020). Sería conveniente asegurar una asociación de gramíneas y leguminosas, así como las divisiones de las áreas de pastoreo, asegurando los tiempos de ocupación y de descanso que favorezcan una óptima condición de los agostaderos y, en especial, una alimentación equilibrada de los búfalos que se exprese en rendimientos adecuados de carne y leche, pero también en indicadores productivos como intervalos entre partos, tasas de pariciones e índices de fertilidad, entre otros (Anzola et al., 2014).

La disposición de infraestructura y equipo acorde a los objetivos de la unidad productiva es otra parte esencial de una finca, de tal suerte que se garantice tanto el almacenamiento y conservación de los insumos como los albergues del ganado, al menos de crías, animales enfermos y hembras al final de una gestación complicada, entre otros. En caso de que se lleve a cabo en la unidad productiva la ordeña se debe considerar un espacio conveniente, con equipos y tanques de enfriamiento, si fuera el caso, de tal suerte que se puedan cumplir condiciones de calidad e inocuidad de la leche y sus derivados que suelen exigir cada vez más los clientes (Vilaboa-Arroniz et al., 2008).

Por supuesto la gestión de personal como de recursos financieros serán otros aspectos fundamentales y claves para mantener la estabilidad de este tipo de fincas (Arango et al., 2020). En cuanto al personal se debe considerar la capacitación permanente y la comprensión de los procesos de los búfalos, que no siempre coinciden con el de los

vacunos, que son los que suelen conocer los trabajadores. En ello, es importante considerar las áreas de sombra y la disposición de charcas, que son vitales en la termorregulación de los búfalos, aspecto que resulta clave en términos de bienestar y de productividad (Mota-Rojas et al., 2019a,b,c,d,e; Bertoni et al., 2019a,b; Bertoni et al., 2020a,b; Mota-Rojas et al., 2020).

Una parte medular radica en establecer un sistema de registros, tanto productivos como financieros que permitan captar datos como número de células de pastoreo, cargas animales y, períodos de recuperación del agostadero entre otros. Para el ganado es precisar tener el control de nacimientos, periodos de engorda, lactancias, presencia de enfermedades y niveles de ganancia de peso y rendimientos lecheros, entre otros (Anzola et al., 2014). En egresos e ingresos financieros también es necesario contar con registros, de suerte que se puedan estimar costos de producción unitarios y totales que auxilien en la detección de eventuales ineficiencias productivas que estén implicando costos excesivos en determinados rubros. Al final se debe estimar un margen de ganancia adecuado y que permita retribuir el total de la inversión efectuada, incluido el capital natural y, por supuesto, que permite niveles de vida adecuados tanto de trabajadores como de los propietarios de cada finca (Mesa-Forero y Joya-Cárdenas, 2020).

En general, se tiene que mantener el control bajo una visión agroecosistémica de la finca, en la que paulatinamente se incorporen variables e indicadores ambientales, de tal forma que se puedan empezar a estimar tanto impactos como posibles medidas de

conservación y restauración de los recursos naturales, con el fin de que efectivamente se administren integralmente las fincas, propiciando el bienestar de todos los seres vivos y recursos, así como su permanencia en el largo plazo que permitan mantener los niveles productivos consecuentes.

5. ORGANIZACIÓN DE LOS CANALES COMERCIALES DE LOS PRODUCTOS BUFALINOS

Para el fomento de una ganadería sustentable es conveniente que se lleve a cabo una adecuada realización comercial, que permita cubrir tanto los costos de producción explícitos como el mantenimiento de los ecosistemas. Sin embargo, dada la reciente incorporación de las áreas tropicales a las dinámicas de cada país, es común que todavía no estén plenamente desarrolladas las vías de comunicación e infraestructura que por un lado facilite el adecuado desempeño de las cadenas de suministro, especialmente las ganaderas que requieren de equipo específico, ni que los productores puedan acceder a precios adecuados por sus productos, dado el insuficiente nivel de organización de los productores como la predominancia de intermediarios comerciales.

Por lo anterior, se requiere del desarrollo de mercados, especialmente de los productos bufalinos, dado que tanto carne como leche pueden valorizarse como productos diferenciados, pero ello requiere de condiciones que permita llegar a los clientes o, al menos, a los distribuidores finales de estos productos. Ante ello, es menester que los productores avancen en sus esquemas de organización, para que en

conjunto puedan absorber los costos de transacción como elevar su poder de negociación al concretar ventas consolidadas. Por su parte, las instituciones también deben incidir en la oferta de bienes públicos, como mercados, almacenes y centros de acopio, entre otros, así como mediante el fomento de estrategias y acuerdos entre agentes comerciales para el desarrollo de estos mercados diferenciados o, al menos, facilitar el encuentro entre oferentes de carne y leche y los consumidores, en condiciones de equidad.

Las experiencias de organización de productores se han reflejado en varios planos por demás documentados, como establecer centros de acopio y, en ciertos casos en la transformación de sus productos en derivados como quesos, embutidos y otros que contienen valor agregado, disminuyen el carácter perecedero de los productos originales y que se acondicionan a las necesidades de los productores (Cavallotti, 2014; Villegas et al., 2019). En ese sentido pueden tener una influencia importante en la vertebración de los canales comerciales en función de sus intereses.

Para ello, una experiencia ampliamente documentada han sido la de los centros de acopio lecheros, que permiten consolidar la oferta, controlar la calidad del producto recibido y negociar con clientes más exigentes en cuanto a volumen y apego a las normas de calidad (Carranza et al., 2007). Varios de estos centros pueden incluir bodegas para realizar compras consolidadas de insumos como alimento animal o medicinas, además, de laboratorios con equipo mínimo que permita evaluar la calidad y en ese caso, negociar con base en información más precisa. En

el caso de la carne también existen experiencias amplias, que han permitido establecer centros de recría, de subastas de crías y de centros de sacrificio que son gestionados por ganaderos, para llegar centros de consumo masivos, que permiten saldar toda la producción como acceder a precios competitivos (Cavallotti, 2014).

Bajo estos esquemas y el apoyo oficial consecuente se pueden establecer estrategias contractuales con los clientes, para asegurar las ventas en plazos más largos, diseñar estrategias promocionales, contratar personal especializado, instaurar plantas de empaques y muchas otras iniciativas que podrían facilitar tanto colocar los productos bufalinos como que éstos sean cada vez más conocidos y demandados por los consumidores, especialmente aquellos convencidos de sus cualidades nutricionales (Guerrero-Legarreta y Totosa, 2006; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b; Cruz-Monterrosa et al., 2020; Guerrero-Legarreta et al., 2020).

CONSIDERACIONES FINALES

Los búfalos representar una opción que puede superar en varios aspectos a las especies convencionales en las regiones tropicales, especialmente bajo el modelo de doble propósito. Ello en función de la capacidad de esta especie no sólo para adaptarse a este ecosistema tan exigente sino de responder a principios de sustentabilidad bajo sistemas de pastoreo rotacional, que puede incluir a los sistemas agrosilvopastoriles.

Bajo esta lógica, los sistemas de búfalos se adaptan a la racionalidad familiar, que suele asegurar sus ingresos con bajo nivel de riesgos y, así propiciar la sostenibilidad en el tiempo de sus unidades productivas. Para ello, resulta imprescindible un conocimiento cada más acabado del medio ambiente como del animal, enfatizando en este último en cuanto a su fisiología, etología y niveles de productividad, especialmente a través de sistemas de pastoreo que permitan aprovechar la alta oferta forrajera que es común en el trópico húmedo y funcionar con bajos costos de producción.

Estas posibilidades se pueden apuntalar con sistemas de gestión más estrictos y con planes de ejecución rigurosos. Finalmente, la búsqueda e, inclusive, la construcción de canales comerciales más seguros y remunerativos, pueden ser la base para garantizar el nivel de vida de los productores y favorecer la organización de sistemas más eficientes y sustentables.

REFERENCIAS

- Alarcón-Rojo, A., Mota-Rojas, D., García-Galicia, I., Cruz-Monterrosa, R., Ramírez-Bribiesca, E., Olmos-Hernández, A., Guerrero-Legarreta, I., 2020. Dark cutting in river buffalo: Effect of management and environmental factors. *Agroproductividad* 13, 93-98. <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1927>
- Albarrán-Portillo, B., Rebollar-Rebollar, S., García-Martínez, A., Rojo-Rubio, R., Avilés-Nova, F., Arriaga-Jordán, C.M., 2015.

Socioeconomic and productive characterization of dual-purpose farms oriented to milk production in a subtropical region of Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* 47, 519–523. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0753-8>

Anzola Vásquez, H., Durán Muriel, H., Camilo Rincón Solano, J., Leonardo Martínez Román, J., Restrepo Vélez, J., Vásquez, A., Muriel, D., Solano, R., Ramón, M., Vélez, J.L., 2014. El uso eficiente de los forrajes tropicales en la alimentación de los bovinos. *Rev. Ciencias Anim.* 7, 111–132.

Arango, Á.M., Dossman, M.Á., Camargo, J.C., Maya, J.M., 2020. colombia services ecosystems : perceptions from the coffee producers in Belén de Umbría , RISARALDA , COLOMBIA 11, 2–10.

Bagella, S., Caria, M.C., Seddaiu, G., Leites, L., Roggero, P.P., 2020. Patchy landscapes support more plant diversity and ecosystem services than wood grasslands in Mediterranean silvopastoral agroforestry systems. *Agric. Syst.* 185, 102945. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102945>

Barboza, J.G., 2011. Bondades ecológicas del búfalo de agua: camino hacia la certificación. *Tecnol. en Marcha* 24, 82–88.

Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Morales-Canela, A., Orozco-Corrales, C., Mota-Rojas, D., 2019a. Capítulo 7. Los sistemas de producción de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico. In Guerrero-

- Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Bertoni, A., Álvarez, A., Mota-Rojas, D., 2019b. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. Soc. Rur. Prod. Med. Amb. 19 (38), 59-80.
- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J., Legarreta, I.G.-, 2020a. Similarities and Differences between River Buffaloes and Cattle : Health , Physiological , Behavioral and Productivity Aspects. J. Buffalo Sci. 9, 92-109. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.12>
- Bertoni, A., Mota-Rojas, D.; Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I. et al. 2020b. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. J. Anim. Behav. Biometeorol. 8:288-297. doi.org/10.31893/jabb.20038
- Bonaudo, T., Bendahan, A.B., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Leger, F., Magda, D., Tichit, M., 2014. Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. Eur. J. Agron. 57, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.010>
- Caraballosa, A., Borroto, Á., Pérez, R., 2011. Conducta de búfalos en pastoreo en humedales de Ciego de Ávila , Cuba Behavior of grazing buffaloes in wetlands of Ciego de Ávila , Cuba 34, 211–218.

- Carranza-Trinidad, R.G., Macedo-Barragán, R., Cámara-Córdoba, J., Sosa-Ramírez, J., Meraz-Jiménez, A. de J., Valdivia-Flores, A.G., 2007. Competitividad en la cadena productiva de leche del Estado de Aguascalientes, México. *Agrociencia* 41, 701–709.
- Cavallotti Vázquez, B.A., 2014. Ganadería bovina de carne y leche. Problemática y alternativas. *El Cotid.* 95–101.
- Connor, S., Nelson, P.N., Armour, J.D., Hénault, C., 2013. Hydrology of a forested riparian zone in an agricultural landscape of the humid tropics. *Agric. Ecosyst. Environ.* 180, 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.12.006>
- Cruz-Monterrosa, R., Mota-Rojas, D., Ramírez-Bribiesca, E., Mora-Medina P., Guerrero-Legarreta I., 2020. Scientific findings on the quality of river buffalo meat and it's prospects for future studies. *J. Buffalo Sci.* 9, 170-180. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.18>
- Cuevas-Reyes, V., Rosales-Nieto, C., 2018. Characterization of the dual-purpose bovine system in northwest Mexico: Producers, resources and problematic. *Rev. MVZ Cordoba* 23, 6448–6460. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1240>
- Cusack, D.F., Karpman, J., Ashdown, D., Cao, Q., Ciochina, M., Halterman, S., Lydon, S., Neupane, A., 2016. Global change effects on humid tropical forests: Evidence for biogeochemical and biodiversity shifts at an ecosystem scale. <https://doi.org/10.1002/2015RG000510>

- Granados-Rivera, L.D., Quiroz-Valiente, J., Maldonado-Jáquez, J.A., Granados-Zurita, L., Díaz-Rivera, P., Oliva hernandez, J., 2019. Caracterización y tipificación del sistema doble propósito en la ganadería bovina del Distrito de Desarrollo Rural 151, Tabasco, México. *Acta Univ.* 28, 47–57. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1916>
- Guerrero Legarreta, I. & Totosaus, A. (2006). Propiedades funcionales de la carne. In Y., Hui, I. Guerrero Legarreta (Ed.), *Ciencia y Tecnología de Carnes* (p. 235). Limusa.
- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R., Mora-Medina, P., & Berdugo-Gutiérrez J., 2019a. The River Buffalo: versatile, rustic and sustainable as a meat producer. *Agro Meat*, 1–10.
- Guerrero-Legarreta, I., García-Galicia, I., Ramírez-Bribiesca, R., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R., Olmos-Hernández, A., & Alarcón-Rojo, A. D., 2019b. Capítulo 21. Factores que afectan la calidad de la carne del búfalo de agua y bovino del género *Bos*. In: Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., & Orihuela, A. (Ed.), *El búfalo de agua en las Américas*. México. BM Editores.
- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Cruz-Monterrosa, R., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Ramírez-Bribiesca, E., Bertoni, A., Berdugo-Gutiérrez, J., & Braghieri, A., 2020. River buffalo meat production and quality: sustainability, productivity, nutritional

- and sensory properties. *Journal of Buffalo Science*, 9, 159-169.
<https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.17>
- Holt, A.R., Alix, A., Thompson, A., Maltby, L., 2016. Food production, ecosystem services and biodiversity: We can't have it all everywhere. *Sci. Total Environ.* 573, 1422–1429.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.139>
- Iglesias, J.M., Galloso, M., Toral, O.C., Aguilar, A., 2019. Comportamiento productivo y conducta de búfalos de río y toros Cebú en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes* 42, 223–229.
- Lacombe, C., Couix, N., Hazard, L., 2018. Designing agroecological farming systems with farmers: A review. *Agric. Syst.*
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.014>
- Marai, I.F.M., Haebe, A.A.M., 2010. Buffalo's biological functions as affected by heat stress - A review. *Livest. Sci.*
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.08.001>
- Mesa-Forero, L.Y., Joya-Cárdenas, D.E., 2020. Caracterización de la gestión de la información del sector ovino-caprino del Chicamocha Medio. *Rev. Int. Ciencias Soc. Interdiscip.* 8, 199–211. <https://doi.org/10.18848/2474-6029/cgp/v08i01/199-211>
- Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I., Pérez-Álvarez J.A., Rosmini, M., Napolitano, F., Ghezzi, M., Fernández-López, J. Braghieri, A., Viuda, M., Bragaglio, A., & Mora-Medina, P., 2019a. Capítulo 1. La carne de búfalo de agua en las Américas: retos y oportunidades. En: Guerrero-Legarreta I, Napolitano F, Mota-

Rojas D. & Orihuela A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.

Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., & Guerrero-Legarreta, I. Napolitano F., 2019b. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 14(035).
<https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>

Mota-Rojas, D., Álvarez, A., Bertoni, A. Molina S., José, N., López, G., Mora, P., Guerrero, I., & Napolitano, F., 2019c. Capítulo 8. La importancia de los animales en labores rurales: tracción, transporte y carga. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.

Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Napolitano, F., Serrapica, F., De Rosa G. et al. 2019d. Capítulo 9. La búfala de agua durante el parto y ordeño: respuestas fisiológicas y conductuales. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (154-191), Segunda edición. México, BM Editores.

Mota-Rojas, D. Napolitano, F., Sarubbi, J., Braghieri, A., Martínez-Burnes, J., Bertoni, A., Ghezzi, D. et al. 2019e. Capítulo 16. Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja” en Guerrero-Legarreta, I.

et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (512-538), Segunda edición. México, BM Editores.

Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A., Martínez-Burnes, J., Álvarez-Macías, A., Orihuela, A., 2020. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. *J Anim Behav Biometeorol* 9:2103. <https://doi.org/10.31893/jabb.21003>

Muñoz, J.C., Huerta, M., Bueno, A.L., Rangel, R., 2016. Production and nutritional quality of forages in conditions Humid Tropics of Mexico. *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas* 16, 3315-3327.

Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Braghieri, A., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Cruz-Monterrosa, R., De Rosa, G., 2020. Factores Productivos y su incidencia en el bienestar de la búfala lechera en sistemas de producción extensivos e intensivos. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 20, (40), 155-173.

Quiroz, J.F.E., Garay, A.H., Y, A.R.Q.C., Méndez, D.M., 2015. Producción y Manejo de Gramíneas Tropicales para Pastoreo en Zonas Inundables.

Res, C., Belda, M., Holtanová, E., Halenka, T., Kalvová, J., 2014. Climate classification revisited : from Köppen to Trewartha 59, 1–13. <https://doi.org/10.3354/cr01204>

Röhrig, N., Hassler, M., Roesler, T., 2020. Capturing the value of

ecosystem services from silvopastoral systems: Perceptions from selected Italian farms. *Ecosyst. Serv.* 44, 101152. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101152>

Vilaboa-Arroniz, J., Díaz-Rivera, P., Ruiz-Rosado, O., Juárez-Lagunes, F., 2008. Socioeconomical and technological characterization of agroecosystems with dual purpose cattle in the papaloapan region, veracruz, mexico. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 10, 53–62.

Villegas de Gante, A., Hernandez Velasquez, M.A., Cervantes Escoto, F., 2019. Valorización de la leche producida en una comunidad del semidesierto zacatecano a través de derivados lácteos. *Exp. Trab. la Red SIAL México con Prod. Agropecu.* 49–61.

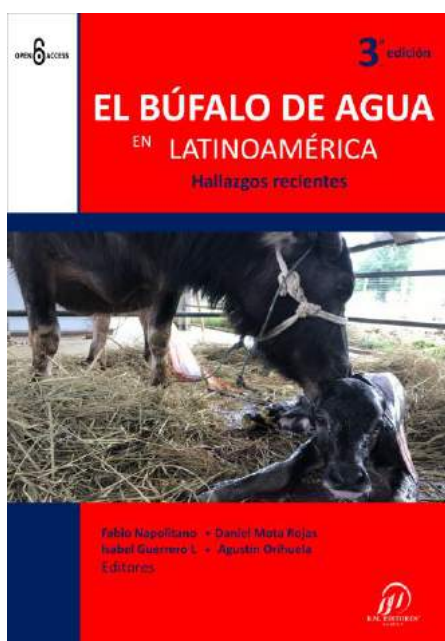
Walters, J.P., Archer, D.W., Sassenrath, G.F., Hendrickson, J.R., Hanson, J.D., Halloran, J.M., Vadas, P., Alarcon, V.J., 2016. Exploring agricultural production systems and their fundamental components with system dynamics modelling. *Ecol. Modell.* 333, 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.04.015>



CAPÍTULO 2

LA PRODUCCIÓN DE BÚFALOS DE AGUA EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE AMÉRICA LATINA: ANÁLISIS BAJO UNA VISIÓN AGROECOLÓGICA

Aldo Bertoni, Daniel Mota-Rojas, Armando Morales-Canela, Carlos Orozco-Corrales y Adolfo Álvarez-Macías



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3^a. Edición

CAPÍTULO 2

La producción de búfalos de agua en el trópico húmedo de América Latina: análisis bajo una visión agroecológica

Aldo Bertoni¹, Daniel Mota-Rojas¹, Armando Morales-Canela², Carlos Orozco-Corrales³
y Adolfo Álvarez-Macías¹

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. México.

²Ciencias Agrícolas de la Universidad EARTH. Costa Rica.

³Producción y Nutrición Animal Sostenible. Universidad EARTH. Costa Rica.

1. INTRODUCCIÓN

Existe consenso en que las actividades antropogénicas se han basado en un excesivo consumo de recursos que han rebasado la capacidad de regeneración de los ecosistemas, especialmente a través de las actividades agrícolas y ganaderas, que destacan por su impacto en los recursos naturales y el medio ambiente. Esta tendencia parece acentuarse en la medida que se ha establecido un notable y progresivo proceso de intensificación de la producción agropecuaria que ha contribuido a la profunda crisis ecológica actual, por lo cual es urgente modificar los bases de los modelos productivos vigentes y, más ampliamente, los modelos alimentarios dominantes, a lo cual debe preceder una mutación en los cimientos conceptuales que han originado y propagado los modelos intensivos (Michel-Villarreal et al., 2019).



En ese marco, la agroecología ha cobrado especial relevancia, ya que ha emergido en el ámbito de las políticas internacionales como un paradigma alternativo para entender tanto el desarrollo agrícola y alimentario, como las múltiples crisis que ha experimentado este sector en los últimos años. A través de la agroecología se puede, además, contribuir a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible y permitir una transición más equitativa entre los distintos grupos sociales. Desde una de sus primeras definiciones Altieri conceptualizó la agroecología como *la aplicación de conceptos y principios ecológicos al diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles* (Altieri et al., 2012). Desde finales de la década de 1990, la agroecología amplió su encuadre para rebasar el nivel la finca y avanzar hacia una concepción que comprendiera la producción primaria, distribución y consumo, todo regido bajo un enfoque racional. De esta forma, se impone un análisis multinivel, que cuestiona el análisis aislado de cada uno de los componentes de un sistema agroalimentario (Anderson et al., 2019).

La agroecología se ha construido como un enfoque promisorio para conciliar la producción agrícola, pecuaria y la sostenibilidad ambiental mediante la optimización de los procesos ecológicos que brindan servicios ecosistémicos, por lo que se debería limitar el uso de los insumos externos y, por otro lado, contribuir a la conservación y restauración de los recursos naturales (Boeraeve et al., 2020; Gordon et al., 2017). Lo anterior supone la protección de funciones ecológicas que sustenten los servicios ecosistémicos (ciclos del carbono y nutrientes en

general así como control biológico de plagas y enfermedades, entre muchos otros principios) (Koppelmäki et al., 2019).

En ese contexto, en la presente propuesta se valora el enfoque de una manera más básica, con el fin de captar bajo un mismo lente las interacciones suelo, vegetación y animal, inmersos en su entorno físico-biótico. Este enfoque se considera pertinente para visualizar una producción como la de los búfalos, que se han desarrollado en sistemas vinculados a los regímenes pastoriles y silvopastoriles, especialmente en las zonas tropicales, que se distinguen por su cuantiosa oferta forrajera (Iglesias et al., 2019; Röhrig et al., 2020).

En efecto, en las regiones del trópico húmedo latinoamericano la ganadería basada en pastoreo ha mostrado una expansión notable desde la segunda mitad del siglo pasado, que sin duda ha inducido un importante desarrollo económico y social regional. La contracara de este evolución ha sido una agresiva degradación de ecosistemas complejos como los diferentes tipos de selva (desde la alta perennifolia hasta la baja caducifolia), por lo que se refuerza la prioridad de repensar el modelo de desarrollo predominante bajo otros preceptos entre los cuales los de la ecología debería ser uno de los medulares (Acosta-Alba et al., 2012; Vilaboa-Arroniz, 2013).

De hecho, las condiciones del trópico húmedo se distinguen por altas temperaturas y humedad ambiental, por algunas superficies inundadas y pantanosas así como por la predominancia de gramíneas de tipo C4 que aportan altos volúmenes de biomasa (Vilaboa-Arroniz, 2013). Bajo

estas exigentes condiciones los sistemas doble propósito en búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) han registrado indicadores de productividad más que aceptables, pero se requiere considerar formas renovadas de gestionarlos, para que mejoren su eficiencia y se reduzca al máximo los efectos medioambientales, en aras de alcanzar una producción tanto rentable como sustentable (Lacombe et al., 2018).

En ese orden de ideas y tomando a los sistema de búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) de doble propósito como eje, en este documento se propone un análisis desde el enfoque agroecológico, para identificar y examinar aspectos y características propias del búfalo de agua y su interacción con las condicionantes típicas del trópico húmedo de Latinoamérica, considerando los retos de expandir los modelos sustentables, mejorar el bienestar animal, coadyuvar en la estabilidad de los ecosistemas y en el suministro de productos y alimentos inocuos y de calidad que respondan a las necesidades de los consumidores.

2. LA CONCEPCIÓN AGROECOLÓGICA EN LA GANADERÍA

La producción pecuaria y agrícola enfrenta un gran desafío: llevar a cabo procedimientos de producción sostenible que conceptualicen y movilicen factores ambientales, sociales y tecnológicos y que, al mismo tiempo, sean económicamente rentables para los productores (Antoni et al., 2019; Walters et al., 2016). Esta preocupación es más fuerte en regiones donde la agricultura y la ganadería han sido actividades relevantes y generado diferentes impactos en los recursos naturales y el medio ambiente (Boeraeve et al., 2020). Ello, en la perspectiva de

retomar un desarrollo que sea ambientalmente sostenible y socialmente equitativo.

Con la teoría general de sistemas como telón de fondo, los sistemas de producción agropecuarios se han concebido, en primer lugar, como sistemas abiertos que poseen estructura (tierra e instalaciones, por ejemplo) componentes (animales), y una dinámica (proceso productivo) que se ejecuta a partir de entradas (alimentos, semen, biológicos, luz solar), salidas (carne, leche) y sus efectos de retroalimentación (crías, forrajes), que se rigen por un centro de decisiones (productor y su familia) que funge como regulador del sistema y de su nivel de eficiencia (Cuevas-Reyes y Rosales-Nieto, 2018; Vilaboa-Arroniz, 2013). En segundo lugar, que funciona con constantes interacciones y combinaciones entre sus elementos y componentes; en el cual existe un significativo intercambio de energía, materia e información con la finalidad de alcanzar un objetivo inmediato que coincide con los productos de salida: alimentos, materias primas y/o servicios (Vilaboa-Arroniz et al., 2008), pero con un objetivo de largo plazo que es mantener y, en su caso, mejorar el nivel de la vida de la familia y la eficiencia del propio sistema productivo.

Por tanto, este enfoque favorece una comprensión holística y trata de captar la complejidad del sistema agropecuario, concediendo especial relevancia a los recursos físico bióticos: sustrato (suelo y forrajes) y al medio ambiente (temperatura, humedad, GEI) así como a las necesidades y expectativas de los productores, que puede fungir como elementos promotores o condicionantes para impulsar el desarrollo de

la finca y junto con otras unidades productivas forjen la dinámica de territorios (Boeraeve et al., 2020; Walters et al., 2016).

Por lo tanto, los sistemas de producción pecuarios en pastoreo se podrían considerar como sistemas agroecológicos, ya que se basan en la sinergia entre producción vegetal y animal y sus procesos de retroalimentación, resaltando el aprovechamiento de recursos forrajeros por parte del ganado y la reintegración de estiércol como materia orgánica para favorecer el desarrollo vegetal, entre otras interacciones (Albarrán-Portillo et al., 2015).

Otro aspecto nodal de la visión ecosistémica es la dinámica temporal, que está presidida por diferentes ciclos bioenergéticos, como el del suelo y sus nutrientes que evolucionan lentamente y, por otro lado, los más dinámicos, como por ejemplo los ciclos de vida de los microorganismos que interaccionan en suelo, vegetación y animales (Connor et al., 2013). En medio existen ciclos de la vegetación y del ganado que se circunscriben a ciclos más vinculados a las estaciones del año y, más específicamente, a los de precipitación y temperatura, que son los que al final marcan los ciclos productivos, especialmente en los sistemas extensivos (González et al., 2018).

De la posibilidad o no de armonizar esos ciclos y de respetar los procesos de regeneración de cada uno es que se puede hacer referencia a procesos sostenibles o no sostenibles, derivando en la actualidad que ha predominado la segunda opción y, por ende, la crisis ecológica que incluso ha puesto en riesgo la existencia misma de la humanidad, como bien lo ha documentado el Grupo Intergubernamental de Expertos

sobre el Cambio Climático¹. En el trópico se han observado procesos tan críticos como la deforestación y pérdida de cubierta vegetal, erosión de suelo, procesos de desertificación y reducción de la diversidad vegetal y animal, por mencionar algunos de los más evidentes (Quero et al., 2018).

Respecto a la gestión de las fincas se ha expuesto que depende las expectativas y recursos de cada productor y de su familia, sin embargo, vale la pena asumir que la racionalidad de estos actores no es completa y está sujeta a influencias de diferente índole, desde las decisiones de política pública que mediante apoyos y subsidios pueden influir en las decisiones de qué y cómo producir; los mercados y las empresas que venden insumos o aquellas que compran productos, así como de la dotación y calidad de recursos naturales y condiciones climáticas, entre otras (Arango et al., 2020; Vilaboa-Arroniz, 2013). Por tanto, la regulación de un sistema productivo también se construye con un alto margen de complejidad y suele evolucionar de manera errática en función de cómo cada productor procese los diferentes eventos y las estrategias que adopte frente a ellos (Bonaudo et al., 2014).

En síntesis, la visión agroecológica fomenta la comprensión de procesos ecológicos, económicos, sociales y políticos, pero esta posición analítica sin duda conlleva una dificultad metodológica para sintetizar y captar las diferentes dimensiones en un momento dado, que es el que selecciona el investigador para captarlos e interpretarlos. En esa dificultad, reside la riqueza de este enfoque, así como en su búsqueda

¹ Ver, por ejemplo: Pachauri y Meyer (2015) Cambio climático 2014. Informe de síntesis, IPCC, Ginebra.

de sistemas sostenibles y, por ende, resilientes que pueden garantizar el suministro de productos agropecuarios y alimentarios en una perspectiva de largo plazo.

3. LA ADAPTACIÓN DEL BÚFALO AL ENTORNO TROPICAL

Como se describió previamente, la forma más común de alimentar el ganado en las zonas tropicales ha sido mediante el pastoreo, bajo régimen extensivo o semintensivo, que implica aprovechar la cubierta vegetal natural, inducida y cultivada bajo controles específicos y una adecuada gestión, que se puede considerar como un sistema cerrado de flujo de nutrientes que pueden ser continuamente reintegrados. Por lo tanto, la relación suelo-planta-animal puede ser considerada de la mayor relevancia debido a los procesos agroecológicos que están implicados y que se pueden potenciar en los sistemas de producción de doble propósito (Vilaboa-Arroniz, 2013).

La complementariedad de estos sistemas se fundamenta en la conducción de los animales así como en su capacidad para valorizar los recursos vegetales naturales y cultivados disponibles en cada finca (Bonaudo et al., 2014). La biomasa forrajera es consumida y transformada por los animales para generar productos de valor para el consumo humano y, de manera indirecta, generar subproductos orgánicos de desecho (orina y heces) que son reincorporados al

ecosistema (Acosta-Alba et al., 2012). En tales circunstancias, los animales juegan un papel clave en el reciclaje y el aumento de la eficiencia del uso de recursos ya que no siempre es necesaria una fertilización sintética (Brewer y Gaudin, 2020). Además, la carga animal y su efecto *manada*, mediante el pisoteo planeado de los agostaderos pueden favorecer la infiltración de los nutrientes, así como el rebrote de los pastizales, para lo cual se deben programar los tiempos de pastoreo y de descanso de cada parcela.

Entre más eficientes sean las interacciones entre suelo-cultivo-ganado, más probabilidades existen de que se cumplan los ciclos que sustentan los procesos agroecosistémicos y se logre minimizar las erogaciones en insumos externos al sistema (Ann y George, 2014; Antoni et al., 2019; Brewer y Gaudin, 2020), sin embargo, si alguno de los elementos de esta relación no funciona de manera eficiente podría repercutir en una subutilización de los servicios proporcionados por alguno de ellos, como puede ser la excesiva acumulación de heces en ciertas áreas de las zonas de pastoreo que pueden resultar contaminantes para el suelo y el ambiente, minando los rendimientos forrajeros (Bonaudo et al., 2014; Brewer y Gaudin, 2020).

Los bovinos son los más utilizados en sistemas de producción tropicales de doble propósito, sin embargo, el consumo de forrajes tropicales con grandes cantidades de celulosa (superiores a 70% de la MS) y lignina (Montenegro et al., 2016; Sahu et al., 2020) generalmente complica la

digestión de los mismos y, por ende, repercute en una lenta tasa de pasaje y en un mayor tiempo de retención en el rumen, con lo que se aumenta la proporción molar de ácido acético que finalmente impide que los animales expresen su máximo potencial productivo (ganancia de peso y producción de leche) (Montenegro et al., 2016). Por lo anterior, en dichos sistemas se tiene que recurrir a insumos externos que puedan complementar la dieta o, también mediante, promotores de crecimiento e, incluso, mejora genética, entre otros mecanismos que están disponibles para la mayoría de los ganaderos (Figura 1).

Con los procesos descritos anteriormente se puede desvirtuar el enfoque agroecológico, ya que la baja eficiencia de conversión de la biomasa forrajera tropical provoca mayor producción de CH_4 como producto de la fermentación entérica ruminal (Sahu et al., 2020). Así mismo, el hecho de recurrir a insumos externos puede generar contaminantes desde antes de llegar a la finca, ya que son sometidos a procedimientos previos (producción, industrialización y distribución) que incluyen el uso de energía proveniente de combustibles fósiles (Sabia et al., 2018), sin que necesariamente se traduzcan en rendimientos crecientes, pues el manejo de estos insumos también requiere de un manejo y aplicación adecuados (Figura 1).

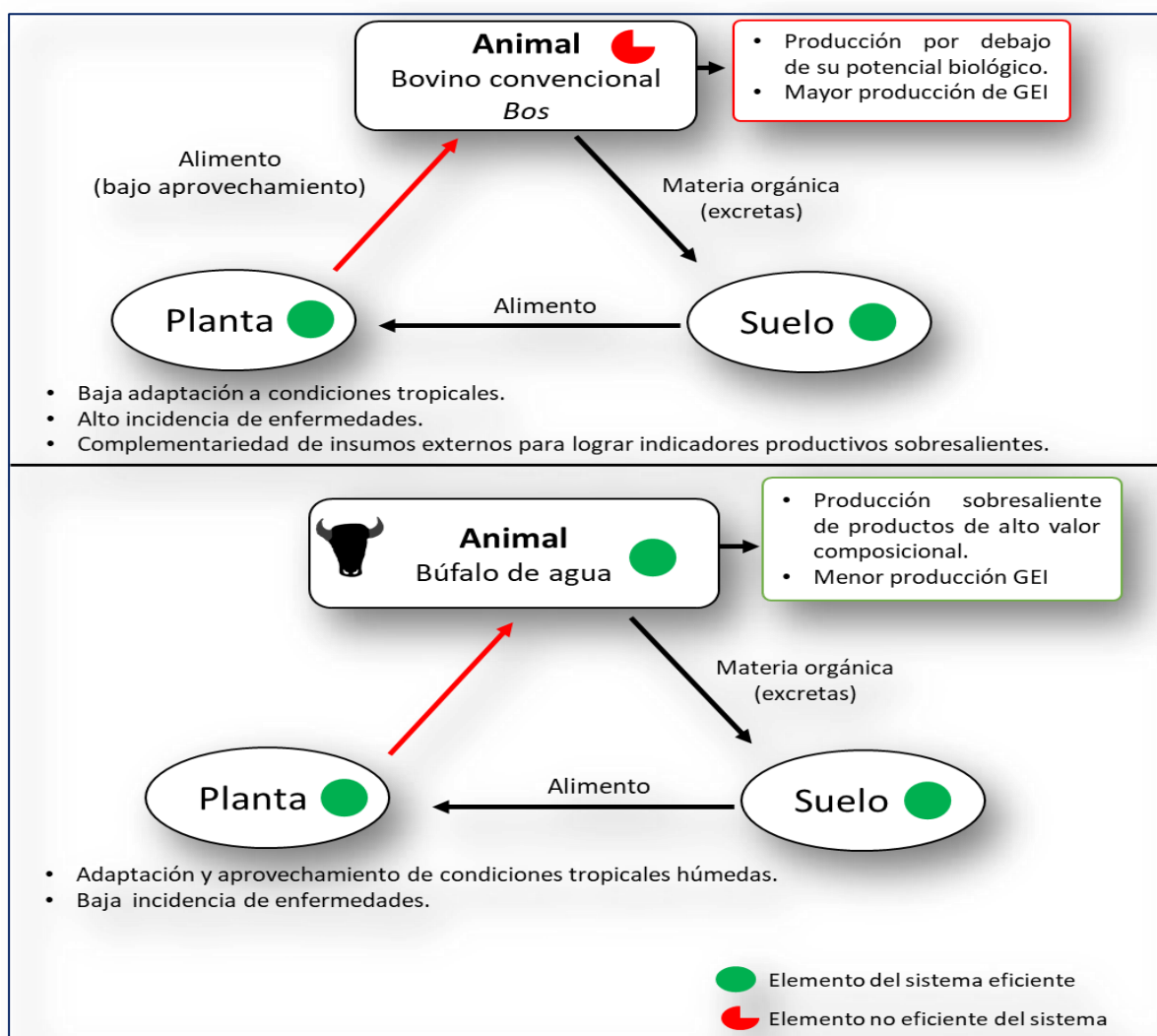


Figura 1. Eficiencia de la interacción suelo-planta-animal de los sistemas de producción tropicales basados en pastoreo comparando a bovinos convencionales del género *Bos* y búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) como elemento animal

En contraste con lo observado en los sistemas vacunos (género *Bos*), las características anatómicas y fisiológicas del sistema digestivo del búfalo de agua potencian el aprovechamiento de forrajes tropicales, incluso los que se han lignificado o contienen alto porcentaje de humedad, por lo cual en pocas ocasiones es preciso apelar a algún tipo de

suplementación alimenticia para alcanzar los niveles de producción de carne y leche adecuados y con alto valor composicional (Bertoni et al., 2019a,b; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b; Mota-Rojas et al., 2020; Cruz-Moneterrosa et al., 2020; Guerrero-Legarreta et al., 2020). La valorización eficiente de forrajes con alto contenido de fibra detergente neutro reduce la producción de metano entérico que puede representar una pérdida directa del 3 al 12% de la energía bruta (Montenegro et al., 2016; Prusty et al., 2017). Por tanto, su eficiencia es benéfica tanto para el propio animal como para el medio ambiente (Prusty et al., 2017) (Figura 1).

De este modo, el búfalo consume menos cantidad de materia seca con respecto al ganado bovino, en promedio los búfalos consumen 2.59% del peso vivo y un 3.09% de los vacunos con producciones y pesos similares, lo que lo distingue como un animal que es menos demandante de nutrientes del suelo y del ecosistema en general, por lo que se reduce la dependencia de insumos externos como lo son los suplementos alimenticios y los fertilizantes para elevar la oferta de recursos forrajeros (Paul y Lal, 2010).

Como se apuntaba previamente, en los sistemas ganaderos del trópico húmedo es común que las unidades productivas comprendan zonas de parcial o total inundación que suelen ser de difícil acceso para especies ganaderas tradicionales (Bertoni et al., 2019a,b), lo cual propicia que

especies vegetales invasoras proliferen, saturen el paisaje y restrinjan funciones básicas de los ecosistemas (Barboza, 2011). En cambio, las características anatómicas y fisiológicas de los búfalos de agua les permiten tener acceso a estas zonas anegadas y con exceso de humedad, y, de esta forma, aprovechar la vegetación de los humedales, incidiendo en el control del crecimiento excesivo de la vegetación para recuperar los espejos de agua que son indispensables para el desarrollo de especies silvestres de flora y fauna (Barboza, 2011); además, por esta vía se aprovechan áreas que de otra forma estarían prácticamente inutilizadas (Caraballos et al., 2011).

De ello deriva que el búfalo de agua cada vez más se profile como un mecanismo de control biológico de la vegetación en humedales, promoviendo las condiciones para conservar a la diversidad biológica y favorecer la ejecución de procesos ecológicos (Barboza, 2011). Además, los humedales, charcas, represas y lodo son necesarias para el búfalo de agua, en especial en condiciones de altas temperatura como las tropicales, ya que le permiten realizar sus funciones de termorregulación, dado que sus características anatómicas y fisiológicas son ineficientes para mantener su temperatura corporal dentro de un rango normal (Marai y Haebe, 2010; Mota-Rojas et al., 2019a,b,e; Bertoni et al., 2020a,b; Mota-Rojas et al., 2020).



Figura 2. Sinergismos del búfalo de agua en los humedales del trópico húmedo.

Las conductas de termorregulación, así como la morfofisiología del búfalo de agua le confiere alta resistencia a enfermedades, en contraste con el ganado convencional de las zonas tropicales que suele estar sujeto a una elevada incidencia de enfermedades de pezuñas, mastitis e infecciones provocadas por ectoparásitos debido al exceso de humedad y a las altas temperaturas (Mota-Rojas et al., 2019a,b,c,d,e,; Bertoni et al., 2020a,b; Mota-Rojas et al., 2020). Expresado lo anterior, el búfalo agua, gracias a que suele desempeñarse en un buen estado de salud, no interrumpe o coarta su ciclo productivo por algún tipo de enfermedad que suelen afectar al ganado convencional (Benitez et al., 2012), además de presentar bajas tasas de mortalidad y, en contraste, altos niveles de fertilidad, precocidad y longevidad, lo cual repercute en un bajo número de animales de descarte, comienzo de la vida productiva a edades tempranas, reducción de intervalos generacionales y, al mismo

tiempo, capacidad de generar gran número de reemplazos (Bertoni et al., 2019a,b; 2020)

De hecho, los animales eficientes y sanos expulsan menos gases de efecto invernadero por unidad de producto y, por consiguiente, coadyuvan a mitigar la emisión de estos gases al ambiente y, en sentido contrario, los animales aumentan su rendimiento productivo (González et al., 2018).

4. LAS POSIBILIDADES DE LOS SISTEMAS PASTORILES Y SILVOPASTORILES

Dentro de los sistemas pecuarios que mejor se apegan a los principios de la agroecología destacan los agroforestales o silvopastoriles que combinan principalmente ganado con los diferentes estratos de vegetación que son sus fuentes de alimentación, proporcionan sombra, pueden aportar madera y frutos y, a la par, permiten una regeneración y conservación del ecosistema (Röhrig et al., 2020). De esta forma, estos sistemas han denotado beneficios complementarios como el almacenamiento de carbono, mantenimiento y, en ciertas condiciones, mejora de la biodiversidad, regulación hídrica, control de erosión y compactación del suelo, implicando que se puedan mejorar los servicios ecosistémicos como el ciclo eficiente de nutrientes (Pezzopane et al., 2019; Röhrig et al., 2020) y ofrecer productos que pueden ser orgánicos o, al menos, sin contenidos excesivo de residuos químicos o contaminantes.

Para que un sistema silvopastoril funcione como tal debe de asociar pastos con arbustos y árboles bajo el principio que los tres estratos de vegetación complementan la alimentación y nutrición animal, con diferentes niveles de contribución según la época del año. Para que esta interacción entre especies sea positiva deben cumplirse algunas condiciones, por ejemplo, pastos que se desarrollen bajo la sombra que ejercen los árboles o que la fertilidad que producen los árboles de leguminosas sirva para enriquecer, al menos de nitrógeno, el suelo (Iglesias et al., 2019; Röhrig et al., 2020)(Figura 3).



Figura 3. Búfalos de agua en sistemas silvopastoriles expresando sus mecanismos conductuales de termorregulación

La vegetación arbórea genera hojas y frutos que suelen ser un excelente complemento alimenticio, especialmente cuando se trata de leguminosas, aprovechando la capacidad de los búfalos para consumirlas (*ramoneo*). Además, este manejo puede implicar a las especies vegetales que se desarrollan en zonas inundadas y que los

búfalos regularmente consumen y procesan adecuadamente (Iglesias et al., 2019).

Los sistemas silvopastoriles también favorecen una mayor complejidad en la estructuración de los potreros, a través de cercas vivas, callejones, mantenimiento de árboles distribuidos en los potreros, bancos de proteína y energía (manejo de parcelas de árboles, arbustivos y leguminosas forrajeras), y pastoreo de vegetación secundaria, de modo que el ganado pueda tener acceso a alimentos suficientes y de suficiente calidad nutricional y, a la par, se induce la conformación de microclimas que le proporcionan mayor confort a los semovientes que en sistemas donde solo existe vegetación herbácea (Pezzopane et al., 2019). De esta forma, el búfalo de agua podría reportar rendimientos y un nivel de bienestar adecuados (Marai y Haezeb, 2010). Cuando las cargas animales se elevan con períodos de ocupación cortos y lapsos de descanso largos la condición del agostadero se puede mantener en condiciones óptimas y así propiciar también una adecuada condición del ganado, aunque a esta última opción debe anteceder un proceso de planeación fundada en un adecuado conocimiento del ecosistema. En esta lógica es que se puede recurrir a los sistemas de pastoreo racional, como el método Savory que se considera un manejo holístico así como el pastoreo Voisin, que aportan la base de la mayoría de los sistemas actuales de pastoreo intensivo (Domínguez-Díaz et al., 2018).

Se han desarrollado otros sistemas complementarios a los anteriores en los que la agroecología manifiesta todo su potencial en el que se asocia

la producción de policultivos con la producción de especies animales domésticos y silvestres como el sistema Maya o la producción de café con ovinos, entre otros que dentro de su complejidad exige un correcto conocimiento de las especies vegetales y animales. Así se posibilita una producción diversificada que guarde armonía con los procesos ecológicos, preservando el equilibrio de prácticamente todas las especies y una productividad global mayor a la que se puede obtener en un monocultivo o en una especie animal bajo régimen intensivo. Además, se podrían satisfacer en buena parte, las necesidades alimenticias de las familias de los productores (González et al., 2018).

En un experimento en el que se evaluó un sistema silvopastoril en Cuba por Iglesias et al. (2019), se comparó el desempeño de búfalos de agua Murrah versus toros cebú, en el cual se consignaron resultados superiores en los primeros, ya que registraron ganancias de peso diario significativamente mayores ($P < 0.05$) que el ganado cebú, (0,775 g y 0,601 g, respectivamente).

Desde el punto de vista conductual, los búfalos revelaron bajo nivel de estrés y, por el contrario, registraron tiempos de rumia más largos que los bovinos, que se transformaron en un procesamiento de los alimentos más eficiente. Para que los búfalos rindan adecuadamente en estos sistemas silvopastoriles es importante mantener la vegetación arbórea para garantizar la sombra de los animales, especialmente cuando no existen charcas u fuentes de agua para que los búfalos aseguren la expresión de mecanismos conductuales de termorregulación (Marai y Haebe, 2010; Mota-Rojas et al., 2019a,b,e;

Bertoni et al., 2020a,b; Mota-Rojas et al., 2020). En el mismo sentido es importante conservar la diversidad de la vegetación y, de ser posible, instalar cercos eléctricos, tanto internos como perimetrales, para evitar que los búfalos invadan células de pastoreo en descanso o migren a otras propiedades y se rompa el equilibrio del sistema, ya que estos animales son proclives a sobrepasar los cercos tradicionales cuando visualizan en terrenos vecinos recursos forrajeros en mejor condición (Caraballoso et al., 2011).

Cabe considerar que los búfalos tienden a desplazarse en grupo, característica que puede favorecer la planeación de los sistemas de pastoreo para establecer itinerarios que permitan un consumo óptimo de los recursos forrajeros (López-Vigoa et al., 2017). Aunque también debe ponderarse cierta separación animales en grupos clasificados por edad, peso u otro criterio útil para evitar que los animales dominantes limiten el consumo del resto del hato, especialmente de las crías. Es importante valorar que cuando se adoptan prácticas para domesticar a los búfalos oportunamente éstos tienden a ser dóciles y a respetar las rutinas de manejo que establezcan los ganaderos. Así pueden responder de mejor manera a sistemas de pastoreo rotacional que tienden a una intensificación paulatina, siempre bajo el régimen pastoril (Anzola et al., 2014).

CONSIDERACIONES FINALES

La agroecología ha mostrado avances significativos en los últimos años, aunque se ha enfocado a la agricultura, a tal grado que aparece como elemento central de políticas públicas dirigidas al sector primario y a la conservación de los recursos naturales en México. En ganadería su movilización como marco de interpretación ha sido restringida, pero podría tener amplio potencial, especialmente en la ganadería pastoril y en la gestión de ecosistemas frágiles como los del trópico húmedo, por lo cual puede ser muy útil no solo para comprender y fomentar la ganadería bubalina sino para que ésta se desarrolle en armonía con el medio ambiente y, además, acorde con estándares de bienestar animal y con tendencia a ofertar productos de calidad e inocuos.

A partir de la agroecología y con apoyo en un enfoque sistémico se han podido captar elementos y procesos interdependientes y que en conjunto determinan la eficiencia global de un sistema, así como su sostenibilidad en el largo plazo. Por ello pueden representar marcos de referencia para repensar los modelos productivos y para que en medio de su complejidad se puedan diseñar prácticas y tecnologías que contribuyan a un desarrollo que enfatice en la conservación y restauración de los recursos naturales, en el bienestar animal y en el desarrollo social, empezando por el de las familias ganaderas.

En el presente documento se presentó un primer acercamiento a este enfoque agroecológico, con la conciencia de que quedan muchas áreas de oportunidad por explorar bajo esfuerzos sistemáticos y cada vez más elaborados que permitan mayor discusión y, en caso de que se considere pertinente, que sirvan para sustentar otras investigaciones e instrumentar acciones sustentables, en especial, en una especie prometedora como los búfalos.

En efecto, los búfalos se han expandido progresivamente en los trópicos de América Latina y han mostrado bondades remarcables en cuanto a su desempeño productivo, en el que suele superar al de los bovinos convencionales por lo cual podría ser una especie que se fomente con mayor vigor. Para ello, es indispensable que se proceda bajo sistemas de pastoreo planificado que, efectivamente, aseguren niveles de productividad, así como estándares de sustentabilidad adecuados en el largo plazo.

REFERENCIAS

- Acosta-Alba, I., López-Ridaura, S., Werf, H.M.G. Van Der, Leterme, P., Corson, M.S., 2012. Exploring sustainable farming scenarios at a regional scale : an application to dairy farms in Brittany 28, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.061>
- Albarrán-Portillo, B., Rebollar-Rebollar, S., García-Martínez, A., Rojo-Rubio, R., Avilés-Nova, F., Arriaga-Jordán, C.M., 2015.

Socioeconomic and productive characterization of dual-purpose farms oriented to milk production in a subtropical region of Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* 47, 519–523. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0753-8>

Altieri, M., Nicholls, C., Nicholls, C., 2012. Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología* 7, 65–83.

Anderson, C.R., Bruil, J., Chappell, M.J., Kiss, C., Pimbert, M.P., 2019. From transition to domains of transformation: Getting to sustainable and just food systems through agroecology. *Sustain.* 11. <https://doi.org/10.3390/su11195272>

Ann, C., George, P.S., 2014. Teaching in an High Authentic Ability Middle Learners. *J. Anim. Sci.* 35, 7–11. <https://doi.org/10.2527/jas2013-6583>

Antoni, C., Huber-Sannwald, E., Reyes Hernández, H., van't Hooft, A., Schoon, M., 2019. Socio-ecological dynamics of a tropical agricultural region: Historical analysis of system change and opportunities. *Land use policy* 81, 346–359. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.10.028>

Anzola Vásquez, H., Durán Muriel, H., Camilo Rincón Solano, J., Leonardo Martínez Román, J., Restrepo Vélez, J., Vásquez, A., Muriel, D., Solano, R., Ramón, M., Vélez, J.L., 2014. El uso eficiente de los forrajes tropicales en la alimentación de los bovinos. *Rev. Ciencias Anim.* 7, 111–132.

- Arango, Á.M., Dossman, M.Á., Camargo, J.C., Maya, J.M., 2020. Colombia services ecosystems : perceptions from the coffee producers in Belén de umbría , Risaralda , Colombia 11, 2–10.
- Barboza, J.G., 2011. Bondades ecológicas del búfalo de agua: camino hacia la certificación. *Tecnol. en Marcha* 24, 82–88.
- Benitez, D., Cetrá, B., Florin-Christensen, M., 2012. Rhipicephalus (Boophilus) Microplus Ticks can Complete their Life Cycle on the Rhipicephalus (Boophilus) Microplus Ticks can Complete their Life Cycle on the Water Buffalo (Bubalus bubalis). <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2012.01.02.11>
- Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Morales, A., Orozco, C., Mota-Rojas, D., 2019a. Capítulo 7. Los sistemas de producción de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). *El búfalo de agua en las Américas* (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Bertoni, A., Álvarez, A., Mota-Rojas, D., 2019b. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 19 (38), 59-80.
- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J., Legarreta, I.G.-, 2020. Similarities and Differences between River Buffaloes and Cattle : Health , Physiological , Behavioral and Productivity Aspects 92–109.

- Bertoni, A., Mota-Rojas, D.; Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I. et al. 2020b. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 8:288-297. doi.org/10.31893/jabb.20038
- Boeraeve, F., Dendoncker, N., Cornélis, J.T., Degruene, F., Dufrêne, M., 2020. Contribution of agroecological farming systems to the delivery of ecosystem services. *J. Environ. Manage.* 260, 109576. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109576>
- Bonaudo, T., Bendahan, A.B., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Leger, F., Magda, D., Tichit, M., 2014. Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. *Eur. J. Agron.* 57, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.010>
- Brewer, K.M., Gaudin, A.C.M., 2020. Potential of crop-livestock integration to enhance carbon sequestration and agroecosystem functioning in semi-arid croplands. *Soil Biol. Biochem.* <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107936>
- Caraballosa, A., Borroto, Á., Pérez, R., 2011. Conducta de búfalos en pastoreo en humedales de Ciego de Ávila , Cuba Behavior of grazing buffaloes in wetlands of Ciego de Ávila , Cuba 34, 211–218.
- Connor, S., Nelson, P.N., Armour, J.D., Hénault, C., 2013. Hydrology of a forested riparian zone in an agricultural landscape of the humid tropics. *Agric. Ecosyst. Environ.* 180, 111–122.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.12.006>

- Cruz-Monterrosa, R., Mota-Rojas, D., Ramírez-Bribiesca, E., Mora-Medina P., Guerrero-Legarreta I., 2020. Scientific Findings on the Quality of River Buffalo Meat and it's Prospects for Future Studies. J. Buffalo Sci. 9, 170-180. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.18>
- Cuevas-Reyes, V., Rosales-Nieto, C., 2018. Characterization of the dual-purpose bovine system in northwest Mexico: Producers, resources and problematic. Rev. MVZ Cordoba 23, 6448–6460. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1240>
- Domínguez-Díaz, E., Oliva, G.E., Báez-Madariaga, J., Suárez-Navarro, Á., Pérez-Castillo, C., 2018. Efectos del pastoreo holístico sobre la estructura y composición vegetal en praderas naturalizadas de uso ganadero , provincia de Última Esperanza , región de Magallanes , Chile 46, 17–28.
- Gordon, L.J., Bignet, V., Crona, B., Henriksson, P.J.G., Van Holt, T., Jonell, M., Lindahl, T., Troell, M., Barthel, S., Deutsch, L., Folke, C., Haider, L.J., Rockström, J., Queiroz, C., 2017. Rewiring food systems to enhance human health and biosphere stewardship. Environ. Res. Lett. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa81dc>
- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R., Mora-Medina, P., & Berdugo-Gutiérrez J., 2019a. The River Buffalo: versatile, rustic and sustainable as a meat producer. Agro Meat, 1–10.

- Guerrero-Legarreta, I., García-Galicia, I., Ramírez-Bribiesca, R., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R., Olmos-Hernández, A., & Alarcón-Rojo, A. D., 2019b. Capítulo 21. Factores que afectan la calidad de la carne del búfalo de agua y bovino del género *Bos*. In: Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., & Orihuela, A. (Ed.), *El búfalo de agua en las Américas*. México. BM Editores.
- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Cruz-Monterrosa, R., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Ramírez-Bribiesca, E., Bertoni, A., Berdugo-Gutiérrez, J., & Braghieri, A., 2020. River buffalo meat production and quality: sustainability, productivity, nutritional and sensory properties. *Journal of Buffalo Science*, 9, 159-169. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.17>
- Iglesias, J.M., Galloso, M., Toral, O.C., Aguilar, A., 2019. Comportamiento productivo y conducta de búfalos de río y toros Cebú en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes* 42, 223–229.
- Koppelmäki, K., Parviainen, T., Virkkunen, E., Winquist, E., Schulte, R.P.O., Helenius, J., 2019. Ecological intensification by integrating biogas production into nutrient cycling: Modeling the case of Agroecological Symbiosis. *Agric. Syst.* 170, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.12.007>
- Lacombe, C., Couix, N., Hazard, L., 2018. Designing agroecological farming systems with farmers: A review. *Agric. Syst.* <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.014>

- López-Vigoa, O., Sánchez-Santana, T., Iglesias-Gómez, J.M., Lamela-López, L., Soca-Pérez, M., Arece-García, J., De, M., 2017. Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes* 40, 83–95.
- Marai, I.F.M., Haebe, A.A.M., 2010. Buffalo's biological functions as affected by heat stress - A review. *Livest. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.08.001>
- Michel-Villarreal, R., Hingley, M., Canavari, M., Bregoli, I., 2019. Sustainability in Alternative Food Networks: A systematic literature review. *Sustain.* 11. <https://doi.org/10.3390/su11030859>
- Montenegro, J., Barrantes, E., DiLorenzo, N., 2016. Methane emissions by beef cattle consuming hay of varying quality in the dry forest ecosystem of Costa Rica. *Livest. Sci.* 193, 45–50. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.09.008>
- Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I., Pérez-Álvarez J.A., Rosmini, M., Napolitano, F., Ghezzi, M., Fernández-López, J. Braghieri, A., Viuda, M., Bragaglio, A., & Mora-Medina, P., 2019a. Capítulo 1. La carne de búfalo de agua en las Américas: retos y oportunidades. En: Guerrero-Legarreta I, Napolitano F, Mota-Rojas D. & Orihuela A. (Ed.). *El búfalo de agua en las Américas* (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., & Guerrero-

Legarreta, I. Napolitano F., 2019b. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 14(035).
<https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>

Mota-Rojas, D., Álvarez, A., Bertoni, A. Molina S., José, N., López, G., Mora, P., Guerrero, I., & Napolitano, F., 2019c. Capítulo 8. La importancia de los animales en labores rurales: tracción, transporte y carga. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.

Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Napolitano, F., Serrapica, F., De Rosa G. et al. 2019d. Capítulo 9. La búfala de agua durante el parto y ordeño: respuestas fisiológicas y conductuales. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (154-191), Segunda edición. México, BM Editores.

Mota-Rojas, D. Napolitano, F., Sarubbi, J., Braghieri, A., Martínez-Burnes, J., Bertoni, A., Ghezzi, D. et al. 2019e. Capítulo 16. Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja” en Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (512-538), Segunda edición. México, BM Editores.

- Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A., Martínez-Burnes, J., Álvarez-Macías, A., Orihuela, A., 2020. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. *J Anim Behav Biometeorol* 9:2103. <https://doi.org/10.31893/jabb.21003>
- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Braghieri, A., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Cruz-Monterrosa, R., De Rosa, G., 2020. Factores Productivos y su incidencia en el bienestar de la búfala lechera en sistemas de producción extensivos e intensivos. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 20, (40), 155-173.
- Pezzopane, J.R.M., Nicodemo, M.L.F., Bosi, C., Garcia, A.R., Lulu, J., 2019. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. *J. Therm. Biol.* 79, 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.015>
- Prusty, S., Kundu, S.S., Kumar Sharma, V., 2017. Nutrient utilization and methane emissions in Murrah buffalo calves fed on diets with different methanogenic potential. *Livest. Sci.* 202, 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.023>
- Röhrig, N., Hassler, M., Roesler, T., 2020. Capturing the value of ecosystem services from silvopastoral systems: Perceptions from selected Italian farms. *Ecosyst. Serv.* 44, 101152. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101152>
- Sabia, E., Napolitano, F., Claps, S., Rosa, G. De, Lucia, V., Braghieri, A.,

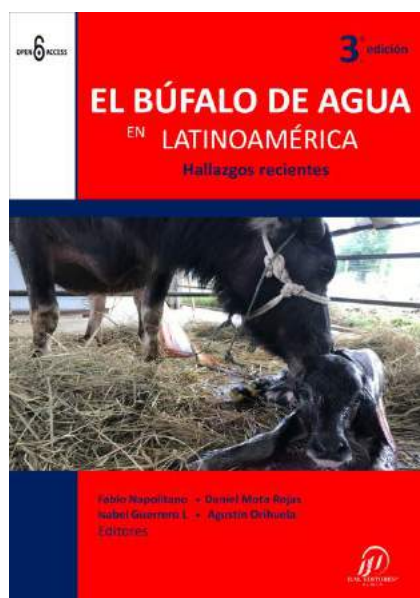
- Pacelli, C., 2018. Environmental impact of dairy buffalo heifers kept on pasture or in confinement 159, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.10.010>
- Sahu, B.K., Parganiha, A., Pati, A.K., 2020. Behavior and Foraging Ecology of Cattle: A Review. J. Vet. Behav. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2020.08.004>
- Vilaboa-Arroniz, J., 2013. La ganadería doble propósito desde una visión. Agro Product. 6, 9–15.
- Vilaboa-Arroniz, J., Díaz-Rivera, P., Ruiz-Rosado, O., Juárez-Lagunes, F., 2008. Socioeconomical and technological characterization of agroecosystems with dual purpose cattle in the Papaloapan Region, Veracruz, Mexico. Trop. Subtrop. Agroecosystems 10, 53–62.
- Walters, J.P., Archer, D.W., Sassenrath, G.F., Hendrickson, J.R., Hanson, J.D., Halloran, J.M., Vadas, P., Alarcon, V.J., 2016. Exploring agricultural production systems and their fundamental components with system dynamics modelling. Ecol. Modell. 333, 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.04.015>



CAPÍTULO 3

COMPORTAMIENTO Y BIENESTAR DE LA BÚFALA LECHERA

Daniel Mota-Rojas, Fabio Napolitano, Ada Braghieri, Giuseppe De Rosa, Adolfo Álvarez-Macías, Patricia Mora-Medina, Elena De Varona, Aldo Bertoni, Jesús Berdugo-Gutiérrez y Felicia Masucci



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 3

Comportamiento y bienestar de la búfala lechera

Daniel Mota-Rojas¹, Fabio Napolitano², Ada Braghieri², Giuseppe De Rosa³, Adolfo Álvarez-Macías¹, Patricia Mora-Medina⁴, Elena De Varona⁵, Aldo Bertoni¹, Jesús Berdugo-Gutiérrez⁶ y Felicia Masucci³

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.

²Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

³Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici, Naples, Italy.

⁴Departamento de Ciencias Pecuarias. Universidad Nacional Autónoma de México. FESC. México.

⁵Departamento de Morfofisiología. Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Camagüey, Cuba.

⁶Centro Latinoamericano para el Estudio del Búfalo de Agua (CLABU). Colombia.

Introducción

El bienestar de la búfala lechera figura como un tema importante, dado su papel fundamental en la salud, la productividad y la calidad e inocuidad tanto en la producción de leche como de carne (Salzano et al., 2016; Mota-Rojas et al., 2019a,b; Napolitano et al., 2020). Sin embargo, tanto en sistemas extensivos como intensivos se pueden generar condiciones adversas al bienestar de los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*). En ese marco, el proceso de intensificación de la producción de leche ha propiciado que los búfalos avancen paulatinamente hacia el confinamiento. Por un lado, a la creciente demanda de los consumidores sobre una gran variedad de productos lácteos y, por otro, a la reciente integración de los búfalos en las unidades productivas, ya que después de las vacas lecheras, el búfalo

de agua (*Bubalus bubalis*) figura como la especie más importante por su rendimiento y alta calidad lechera.

En este sentido, el bienestar de los búfalos se ha comprometido y ha provocado efectos adversos en la producción lechera. Entre los factores involucrados se encuentran los inherentes al animal, como su comportamiento o la respuesta térmica, así como los del entorno tales como los ambientales, la tecnificación de la ordeña y los relacionados con los procesos productivos (parto, lactación y destete) (Napolitano et al., 2018; Napolitano et al., 2019; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c,d,e; Napolitano et al., 2020; Mota-Rojas et al., 2020). Valorar la influencia positiva o negativa que dichos factores ejercen sobre el bienestar de los animales, es de gran trascendencia ya que con base en ello se podrán implementar acciones para mejorar el nivel de bienestar de los búfalos y, con ello, garantizar su productividad lechera a lo largo de su ciclo de vida.

Para ello, es necesario aplicar protocolos de evaluación del bienestar animal; sin embargo, los indicadores o las escalas usadas para búfalo, derivan de adaptaciones de las utilizadas en ganado vacuno del género *Bos*, por lo que existe la necesidad de generar los indicadores específicos y validarlos, para asegurar que se apliquen a las búfalas lecheras y, que por ende, sean confiables y repetibles a nivel de la unidad de producción. Es importante resaltar que diferentes grupos de investigación están estudiando sobre ello, como se mostrará en este documento.

En este marco, el objetivo del presente capítulo consiste en discutir y analizar los efectos positivos y negativos que los factores vinculados al animal y al entorno, ejercen sobre el bienestar de la búfala lechera en diferentes sistemas de producción.

Existen hallazgos científicos recientes relacionados con el bienestar de las búfala lechera tratando de establecer cuáles son los indicadores apropiados a este animal para valorar su nivel de confort (Napolitano et al., 2005; Napolitano et al., 2012), asimismo establecer protocolos que permitan evaluar indicadores positivos y su aplicación en establos o unidades de producción de leche de búfalas de agua (De Rosa et al., 2003; De Rosa et al., 2005; Napolitano et al., 2009; Napolitano et al., 2020).

En otro sentido, y debido al incremento en la demanda de productos lácteos por parte de la industria y de los consumidores, se ha reforzado el interés por incorporar otras especies animales que puedan ofrecer leche (Catillo et al., 2002), por lo cual en varios países los bovinos tradicionales del género *Bos*, están siendo sustituidos o complementados por búfalos (Fericean, 2016) con el fin tanto de ampliar la oferta de leche como acceder a un producto de alta calidad aumentar la disponibilidad como mejorar su contenido nutrimental, en aras de ofertar leche y sus derivados, entre ellos el queso mozzarella (Catillo et al., 2002).

Por lo tanto, la integración de los búfalos en las unidades productivas se está incrementando paulatinamente, ya que después de las vacas lecheras, el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) se ubica como la especie

más importante gracias a sus bondades productivas, entre las que destacan: prolificidad, precocidad, rusticidad, longevidad, productividad y alto valor nutricional de la leche (Fericean, 2016; Mitat, 2011).

Es relevante resaltar que a partir de su introducción en las unidades de producción ganaderas, a las búfalas lecheras se les trata y maneja como bovinos tradicionales, sin ponderar que los primeros son más rústicos (con gran capacidad de adaptación a ambientes adversos) y generalmente criados en sistemas extensivos, mientras que los segundos son más especializados y, por lo general, producidos bajo sistemas semintensivos e intensivos (Mota-Rojas et al., 2019b).

A continuación se analiza el estatus de bienestar que alcanzan los búfalos tanto en sistemas extensivos como en los intensivos, indicando las áreas de mejora que derivan. Esta información se sintetiza en el Cuadro 1.

COMPORTAMIENTO Y BIENESTAR DEL BÚFALO EN SISTEMA EXTENSIVO

Los sistemas extensivos se caracterizan por disponer de amplias superficies de tierra y bajo nivel de inversión por unidad animal, en el cual los semovientes se movilizan en un ambiente cercano al de su entorno natural. En este ámbito, los animales presentan necesidades básicas que imprescindiblemente deben ser satisfechas –aquellas que son esenciales para la vida-, para lograr un nivel adecuado de bienestar, pero también denota otras necesidades que, aunque no son esenciales para su supervivencia, mejoran sus condiciones de vida y

con ello también su productividad (Fraser, 2006). Se debe tener claridad en que el bienestar es una característica del animal, no es algo que se le pueda brindar.

El bienestar de un individuo surge de satisfacer sus necesidades propias y las de la especie. Los seres humanos lo que podemos es aportar recursos para que el animal los utilice para intentar adaptarse al ambiente, satisfaciendo así sus necesidades (Endres et al., 2014).

Es posible satisfacer las necesidades de los animales, mediante modificaciones del ambiente, pero los estímulos ambientales son muy variables. Antes de definir si el medio es adecuado para un animal deberían ser evaluados todos sus componentes (factores macro y microclimáticos, topografía, altitud, latitud, alimento, agua y relaciones sociales dentro del grupo, entre otros). Solo será considerado un ambiente como apropiado, cuando permita al animal satisfacer plenamente sus necesidades (Appleby, 1997; Mota-Rojas et al., 2016).

En las áreas de pastoreo inherentes a los sistemas extensivos los búfalos de agua destinan más del 99% de su tiempo en alimentarse, beber agua, rumiar y descansar; el restante 1% los animales se desplazan y realizan otras actividades (Fericean, 2016). Si sólo se considera alimentación y rumia los búfalos ocupan entre el 60 y 65% de su tiempo por día (De Rosa et al., 2009a).

El peso, edad, gestación y producción de leche tienen efecto sobre la duración del pastoreo (Fericean, 2016); sin embargo, el tiempo de pastoreo se ve reducido si en las praderas existen charcas con barro

(lodo) y las temperaturas son elevadas, ya que las búfalas lecheras tienden a permanecer mucho más tiempo del día, alrededor de 4 a 6 horas, tomando baños con barro para refrescarse (Fericean, 2016; Bertoni et al., 2019a,b; 2020a,b; Mota-Rojas et al., 2020).

Cabe señalar que los ambientes silvopastoriles (combinación de árboles, arbustos y herbáceas), además de proporcionar gran variedad de alimentos y sombra, permiten a los búfalos expresar sus comportamientos naturales y aumenta la frecuencia de conductas relacionadas con la exploración del entorno y de sus coespecíficos (Mora-Medina et al., 2018a; Mota-Rojas et al., 2019b; Mota-Rojas et al., 2020). Los búfalos a diferencia de los bovinos convencionales pueden aprovechar mejor las características de los sistemas silvopastoriles, donde además de aprovechar la sombra de los árboles se pueden alimentar de fuentes variadas, que brindan nutrientes en distintas épocas del año. Para ello, el búfalo aprovecha su capacidad consumir hojas y frutos de árboles y arbustos, gracias a sus habilidades naturales (*ramoneo*).

En un estudio realizado por Iglesias et al. (2019), se comparó la ganancia de peso diaria de búfalos de agua Murrah y de ganado cebú, los resultados fueron significativamente mayores a favor del búfalo ($P < 0.05$), lo cual sugiere un mayor aprovechamiento de especies arbóreas y arbustivas desde el punto de vista nutricional y de bienestar animal al brindar sombra natural que permite al búfalo desarrollar sus mecanismos conductuales de termorregulación.

Por su parte, Trupaldi et al. (2004) han demostrado que los animales que se encuentran en ambientes confortables, en condiciones similares a sus hábitats naturales (Figura 1), que promueven el bienestar, las búfalas muestran una menor respuesta de la corteza suprarrenal y por ende, exhiben mayor capacidad para elegir el sitio donde desean permanecer para alimentarse, refrescarse (Trupaldi et al., 2004) o explorar (Napolitano et al., 2013), de acuerdo con las variaciones en las condiciones del microambiente (Cuadro 1).



Figura 1. Sistemas extensivos de producción en el trópico húmedo latinoamericano

Como se apuntaba previamente, la disposición de charcas favorece el bienestar de los búfalos de agua, ya que les permite expresar su

comportamiento termorregulador (Mota-Rojas et al., 2020), permaneciendo en las mismas más de 5 horas al día, como lo han consignado diferentes investigadores (De Rosa et al., 2009a; Marai y Haebe, 2010; Napolitano et al., 2013; Mora-Medina et al., 2018a; Mota-Rojas et al., 2019a,b,e; Bertoni et al., 2019a,b; 2020a,b). En búfalas Mediterráneo se encontraron efectos benéficos evidenciados por un mayor número de interacciones sociales como acicalarse y olerse, pasando más tiempo explorando y caminando sin afectar la calidad de leche (De Rosa et al., 2007a). Para mayores detalles de sistemas confinado *versus* pastoreo se recomienda consultar Mora-Medina et al. (2018a). Si se tiene interés en conocer el efecto del sistema de producción sobre el comportamiento a la pubertad de búfalas jóvenes o desea revisar con detalle el impacto ambiental de búfalas lecheras mantenidas en pastoreo o en confinamiento referirse a Sabia et al. (2014) y Sabia et al. (2018), respectivamente.

LA EXPERIENCIA CUBANA EN LA CRIANZA DEL BÚFALO

En América Latina la especie bufalina fue introducida en 1895 a través la Guyana Francesa para ser usado como animal de trabajo. En la década de los 80 del Siglo XX llegaron a la Cuba los primeros ejemplares, unas 3 000 cabezas tipo Bufalipso y de Pantano o Carabao utilizado con fines cárnicos, pero de bajo rendimiento lechero (Simón y Galloso, 2003).

En la empresa pecuaria Los Naranjos, se acondicionaron 6,307 ha de tierra, en franja pantanosa del sur de La Habana con el objetivo de producción de proteína animal para la población. Así llegaron unos 2,984 búfalos, de ellos 279 del tipo Río (Bufalipso) y 2,705 de Pantano (Carabao), producto de la selección de un rebaño de Trinidad y Tobago. En Cuba en sus inicios se adoptó bajosistemas extensivos para garantizar su fomento y desarrollo (Pages, 2003).

Respecto a su comportamiento reproductivo en sistema extensivo, se han caracterizado por ser animales prolíficos y longevos, las hembras con más de 25 años logran más de 20 partos. El periodo de gestación es aproximadamente un mes más largo que el bovino, el estro es muy difícil de detectar y los apareamientos en su mayoría son nocturnos (Estévez-Alfayate et al., 2019).

COMPORTAMIENTO Y BIENESTAR EN SISTEMAS INTENSIVOS

El proceso de intensificación de la producción de leche ha propiciado que los búfalos avancen paulatinamente hacia el confinamiento (Mota-Rojas et al., 2016; Salzano et al., 2016; Mora-Medina et al., 2018a; Napolitano et al., 2019; 2020; Mota-Rojas et al., 2019b). Usualmente se considera que los sistemas de producción extensivos son convenientes desde el punto de vista del bienestar, debido a que permiten la libertad de elección y movimientos, donde los animales sólo entran en contacto con los humanos eventualmente para realizar manejos zootécnicos de tipo preventivo, el tratamiento de alguna

enfermedad o la ordeña (Marchant et al., 2000; Mota-Rojas et al., 2016).

En todo caso, el sistema intensivo ha permitido el incremento de la productividad de las unidades de producción, mediante el aumento de la eficiencia productiva de los animales (Broom, 2004), lo cual se ha sustentado en los resultados de las investigaciones realizadas sobre selección genética, nutrición e implementación de sistemas alternativos de producción y de buenas prácticas de manejo (Mota-Rojas et al., 2016; Orihuela et al., 2018; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c,d,e). No obstante, la adopción de estos procesos de intensificación de la producción no necesariamente influyen positivamente en el bienestar de los animales (Appleby, 1997).

De hecho, se ha valorado que los sistemas intensivos o de confinamiento resultan negativos para los animales porque la libertad de elección y movimientos están restringidos, sin embargo, catalogar a un sistema por este criterio no es suficiente para determinar el grado de bienestar que gozan los animales; ya que en ambos sistemas de producción, un número importante de factores del ambiente estarán desafiando a los animales y comprometiendo su bienestar, produciendo estrés que en la mayoría de las ocasiones perturba la estabilidad de los animales (Cuadro 1) (Veissier et al., 2008).

También se hace referencia a los factores adversos y modificaciones conductuales que enfrenta la búfala lechera al incorporarse al proceso de intensificación (Mota-Rojas et al., 2019a,b) (**Figura 2**).



Figura 2. Factores adversos del confinamiento. Como consecuencia de la intensificación y del interés económico por el incremento del consumo de sus productos, en su crianza los búfalos se han expuesto a nuevos estímulos ocasionados por diversas tecnologías aplicadas regularmente en vacas lecheras como: incremento del contacto humano, cambio de dieta, reducción del espacio disponible y, sin duda, la transición del ordeño manual al tecnificado. Estas prácticas han perjudicado la salud de las búfalas, incrementando el número de lesiones y trastocándose la interacción positiva humano-búfala. Adicionalmente, con la intensificación se han apreciado alteraciones de la conducta tanto de la madre como de las crías. Además, en ocasiones el diseño de las instalaciones no permite que el búfalo pueda modular su respuesta térmica, lo que puede ocasionar estrés calórico que reducirá el consumo de alimento y la producción de leche (De Rosa et al., 2007a; De Rosa et al., 2009a,b; Bertoni et al., 2019a,b). Por ello es importante ahondar en el comportamiento de la especie para diseñar el manejo que garantice el confort animal y permita incrementar su productividad.

Así, una producción eficiente y un buen nivel de bienestar, ciertamente pueden ser paralelos, pero algunas prácticas propias de los sistemas modernos de producción animal resultan en pobres niveles de bienestar. Lo anterior se explica por que se ha buscado la eficiencia sin considerar en la misma medida el adecuado funcionamiento biológico de los animales (Broom y Corke, 2002; Mota-Rojas et al., 2016).

Dicho lo anterior, no sólo se trata de poner atención a los alojamientos por el tema de restricción espacios, sino también al alimento, manejo, y a todos los elementos que pudieran generar afectaciones al estado de salud y y al comportamiento de los búfalos (Tripaldi et al., 2004; Mora-Medina et al., 2018ab; Mota-Rojas et al., 2019).

Las condiciones del alojamiento representan un indicador directo de bienestar de los búfalos, debido a que si no son ambientes enriquecidos, generan estrés en los animales (Tripaldi et al., 2004). Al respecto, Tripaldi et al. (2004), investigaron el efecto de dos sistemas de alojamiento sobre las respuestas conductuales y fisiológicas de las búfalas lecheras. Los alojamientos consistieron en 1) con y 2) sin un amplio patio al aire libre con vegetación variada y charcas o fosas para que las búfalas pudieran bañarse y revolcarse, similares a los utilizados en sistemas tradicionales.

Las búfalas lecheras mantenidas en condiciones intensivas, al no tener acceso a los patios y charcas, extendieron sus períodos de inactividad debido a la falta de enriquecimiento de su entorno (Tripaldi et al., 2004). Por lo que uno de los elementos de enriquecimiento necesarios para las búfalas es la introducción de espacios abiertos con fosas de barro que además favorecen la producción lechera en los meses más cálidos y de mayor humedad (De Rosa et al., 2009b). Cabe señalar que un nivel reducido de actividad (Figura 3) también puede expresarse en mayor porcentaje de tiempo que los búfalos dedican a mantener las

diversas posturas de “descanso” o echado (Napolitano et al., 2013) (Cuadro 1).



Figura 3. Sistemas de producción confinados de leche de búfalas de agua

La intensificación y las técnicas de crianza desarrolladas en vacas lecheras para incrementar la producción de leche expone a los animales a cambios repentinos en el ambiente que implican afecciones de diferentes tipos (De Rosa et al., 2009a,b). En ese sentido, los principales factores que pueden afectar el desempeño productivo de las búfalas se encuentran: el manejo por parte de los trabajadores (golpes, jalones, uso de palos), la técnica de ordeño (manual Vs.

mecánico), comportamiento animal (nerviosismo), etapa productiva (primíparas Vs. multíparas), experiencias previas de manejo (negativas Vs. positivas) y la rutina diaria, incluyendo la interacción con los trabajadores (Cuadro 1).

En específico, la máquina de ordeño puede ocasionar estrés debido al ruido que ocasiona el deficiente mantenimiento de los equipos (Polikarpus et al., 2014a,b). Aunado a ello, las malas prácticas por parte de los trabajadores incrementa el nerviosismo y los comportamientos agresivos así como el miedo en los animales (Polikarpus et al., 2014a,b), provocando movimientos descontrolados de los semovientes que tienen la probabilidad de derivar en lesiones. En este sentido, el manejo adecuado, suave y lento, de los animales tiene efectos positivos disminuyendo el nerviosismo de las búfalas durante el ordeño.

FACTORES PROPIOS DEL ANIMAL: EL TEMPERAMENTO

El temperamento describe la idea de que las diferencias individuales de comportamiento son repetibles a lo largo del tiempo y en diferentes situaciones (Réale et al., 2007). El temperamento de los animales generalmente se considera innato, heredable (Lanier et al., 2000) y es el resultado de la estructura neural del animal (Prasad y Laxmi, 2014).

Se ha demostrado que el temperamento tiene una influencia en la producción de leche. Según su temperamento y tomando como base su reactividad motora en la preparación y manejo durante la ordeña, Prasad y Laxmi (2014), tratando de identificar el tipo de animal, clasificaron a los búfalos en cinco categorías: docilidad (1), ligeramente nervioso (2), ligeramente inquieto (3), agresivo (4) y nervioso (5). Los criterios consistieron en determinar desde la inmovilidad en animales dóciles, flexión de los miembros, hasta patear o forcejear en animales agresivos. Cuando se asoció el temperamento con la productividad en búfalas de la raza Murrah, las caracterizadas como dóciles produjeron en promedio 2 kg más de leche, en comparación con los animales clasificados como agresivos (Prasad y Laxmi, 2014). Esto puede explicarse debido a que en búfalas lecheras agresivas, la activación del eje simpático médulo-adrenal libera adrenalina, ocasionando retención de leche. De lo anterior deriva una recomendación adicional, para que animales con temperamento dócil sean seleccionados por su fácil manejo y bajo nivel de ansiedad para incorporarse en los programas de cría (Prasad y Laxmi, 2014) (Cuadro 1).

ASPECTOS REPRODUCTIVOS BÁSICOS

Las búfalas lecheras entran en celo a lo largo del año, sin embargo, un factor que permite el mayor índice de fertilidad se asocia con la disminución de las horas de luz diurna, lo que coincide en áreas tropicales con mayor disponibilidad de forraje (De Rosa et al, 2009a). Por otro lado, la inclusión de charcas o fosas en las unidades productivas favorece el porcentaje de fertilidad en la relación de hembras gestantes en condiciones de calor extremo y humedad, debido a que disminuye el estrés por calor (Di Palo et al., 2009).

En Asia, se ha determinado que en el búfalo lechero la época del año donde se concentran los partos tiene efecto sobre la eficiencia reproductiva (Shah et al., 1989). En Paquistán, India y Egipto, se ha observado que becerros nacidos en invierno y primavera (de noviembre a abril) tienen intervalos de parto significativamente más largos que los nacidos en verano y otoño (de mayo a octubre) (Shah et al., 1989), lo que puede poner en riesgo la viabilidad de las crías.

Asimismo, el número de partos de las búfalas lecheras influye en la variabilidad del periodo de gestación. En primíparas, el periodo de gestación es mayor en comparación con búfalas de 5 ó más partos, en las que los periodos de gestación se reducen (Shah et al., 1989) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Factores que afectan la producción en búfalos lecheros, ventajas y desventajas

Factor	Ejemplos	Beneficios potenciales o ventajas,	Referencias	Desventajas potenciales	Referencias
Macroambiente	Sistema extensivo	↑ Comportamientos naturales (exploración del entorno y coespecíficos, desplazamientos, alimentarse, rumiar, refrescarse mediante sombras o sumergirse en charcas)	Rahangdale, et al. (2011); Aggarwal and Singh, (2010); Fericean, (2016); De Rosa, et al. (2009a; 2009b); Tripaldi, et al. (2004); Napolitano, et al. (2013); Di Palo, et al. (2009); Mora-Medina et al. (2018a,b); Mota-Rojas et al. (2019).	Poca tolerancia a THI elevados (↑ temperatura ↑ humedad) ↑ Estrés por choque térmico ↑ Alteración en el metabolismo (↑ T°C corporal, ↑ Frecuencia Respiratoria, ↑ Temperatura de la superficie corporal) ↓ Producción lechera ↓ Rendimiento productivo ↓ Ingesta de alimento en	Shenhe, et al. (2018); Napolitano, et al. (2013); Aggarwal and Singh, (2010); Rahangdale, et al. (2011)
	Sistema intensivo	Pueden ser sistemas enriquecidos con fosas o charcas, vegetación y espacios abiertos	Tripaldi, et al. (2004);	Espacio reducido, sitios sin enriquecimiento: ↑ Posturas de echado o "descanso"	Tripaldi et al. (2004); De Rosa et al. (2009b); Napolitano, et al. (2013); Mora-Medina et al. (2018a).
Propios del animal	Temperamento	Animales dóciles fáciles de manejar: ↑ producción lechera	Prasad y Laxmi, (2014);	Animales agresivos y nerviosos: ↑ Activación eje Hipotálamo-Hipófisis-Adrenal ↑ Reactividad de patear y forcejear, son difíciles de manejar	Prasad and Laxmi, (2014);
	Eficiencia reproductiva	↓ Horas luz: ↑ Fertilidad y ↑ Disponibilidad de forraje	De Rosa, et al. (2009a)	↑ Horas luz: incrementa fertilidad y ↓ Disponibilidad de forraje ↓ Disminuye fertilidad	De Rosa, et al. (2009a)
Nacimiento, lactación, destete	Parto normal	La madre se separa del rebaño, favorece reconocimiento de la cría. Expresión de la conducta normal de parto ↑ Secreción de oxitocina, dopamina ↑ Comportamiento epimelético ↑ Comportamiento et-epimelético ↑ Amamantamiento comunal de la búfala con varios becerros	De Rosa, et al. (2009a); Mohammad y Abdel-Rahman, (2013); Dubey, et al. (2018); Yadav, et al. (2009); Napolitano et al. (2013); Mora Medina et al., (2018ab); Mota-Rojas et al. (2019).	↑ Liberación de citocinas y prostaglandinas, cortisol (dolor de parto).	Mohammad y Abdel-Rahman, (2013). Purohit, et al. (2011); Purohit, et al. (2012).
	Parto anormal			Distocia: ↑↑ Tiempo de primera fase de parto ↑↑ Frecuencia pulsaciones y respiratoria ↑ Inquietud, patear el suelo, mirada hacia atrás, sobre la región abdominal, encorvar el lomo. ↑↑ [cortisol] ↑↑ Distocia materna ↑ Distocia fetal ↑ Muerte del becerro 24 h	Mohammad and Abdel-Rahman, (2013). Purohit, et al. (2011); Purohit, et al. (2012); Yadav, et al. (2009); Jadon et al.

				post-parto ↑↑ Agotamiento de la madre ↓↓ Conducta materna (epimelético) ↓↓ Conducta del becerro (Et-epimelético) ↑↑ Infección uterina	(2005). González-Lozano et al., (2019).
Sal de ordeña	Estimulación durante actividades pre-ordeño.	Cavallina et al. (2008); Polikarpus et al. (2014); Polikarpus et al. (2015).	Leche almacenada en compartimento alveolar: Predisposición a mastitis por deficiente vaciado de la ubre; por época de lluvias; por sumergirse en lodo. <i>(Staphylococcus aureus o Streptococcus agalactiae)</i> Estrés agudo: separación de crías, ambientes novedosos Manejo agresivo o brusco del ordeñador. ↓↓ eyección de leche.	Singh et al. (2017); Cavallina et al. (2008);	
	Estabilidad en las rutinas			De Rosa, et al. (2009a);	
	Orden de ingreso de las búfalas debe ser constante			Saltalamacchia, et al. (2007);	
	Habitación pre-ordeño: ↓↓ estrés, reactividad conductual y mejora rendimiento lechero			Khan y Muhammad, (2005) Borghese, et al. (2007)	
	Administración de oxitocina exógena, ↓↓ estrés, ↑ eyección de leche.			Alí, et al. (2011).	
Destete	↑Reanudación del ciclo ovárico; ↑Tasa de concepción	Rijasnaz, et al. (2014); Singh et al. (2017);	↑ Destete a edades tempranas: En búfalas lecheras: ↓ Producción ↓ tiempo de amamantamiento En el bucerro: ↑ [cortisol sanguíneo] ↑ Predisposición de enfermedades ↑ Conductas anormales (succión a objetos o coespecíficos; enrollar la lengua) ↑ Lesiones en coespecíficos (prepucio, ombligo y pezones).	Singh et al. (2017);	
				De Rosa, et al. (2009a); Napolitano, et al. (2013);	
Post-destete	Nutrición y Salud de becerros	Éxito en la producción lechera	Ahmad, et al. (2009).	Nutrición desbalanceada o insuficiente (hambre crónica): ↓ Tasa de crecimiento ↓ Condición corporal Deficientes condiciones ambientales y de manejo: ↑ Enfermedades (digestivas y respiratorias) ↑ Mortalidad	Batthi, et al. (2007); Ahmad, et al. (2009); Khan et al. (2007).

En este contexto es importante advertir que se están utilizando técnicas para la desestacionalización de las búfalas, con las cuales se pretende mejorar genéticamente, además, de favorecer la disposición

de leche fresca durante todo el año para cubrir la demanda creciente de los mercados; sin embargo, para ello resulta importante que con control y buen manejo se garantice el bienestar animal (Crudeli et al., 2016)

CONSIDERACIONES FINALES

La rápida introducción de búfalos provenientes de Asia a Europa, Estados Unidos de América y Latinoamérica, ha hecho que el manejo, infraestructura y equipamiento de la ganadería bufalina se profile como una oportunidad de negocio, sin pleno conciencia de que las búfalas no son vacas lecheras.

Lo anterior compromete y pone en riesgo el nivel de bienestar de los búfalos repercutiendo en su productividad lechera. Entre los factores involucrados se encuentran los factores propios del animal como su temperamento o la termorregulación, los ambientales, como la intensificación del sistema, la tecnificación durante la ordeña, así como los relacionados a los procesos de parto, lactación propiamente dicho y destete. Por ello, identificar el modo en que afectan dichos factores, favorecerá la implementación de acciones para prevenir, minimizar o eliminar su presentación dentro de las unidades productivas.

Es necesario implementar protocolos de evaluación del bienestar de búfalas lecheras que sean de fácil aplicación a nivel de granja, ya que teniendo en cuenta la influencia positiva o negativa que ciertos

factores ejercen sobre el bienestar de los búfalos, se podrán instrumentar acciones que repercutan en mayor productividad.

El bienestar de las búfalas en las unidades de producción, es indudablemente un aspecto que debe considerarse, principalmente con el objetivo de minimizar el sufrimiento innecesario y mejorar el estado sanitario de los animales. Para ello es importante, mejorar los métodos de manejo en los diferentes sistemas de producción (intensivos Vs. extensivos) y sobre todos los alternativos (agrosilvopastoriles holísticos), que validen el bienestar de la búfala, así como la calidad final de la leche, dado que cada vez es más evidente la importancia que tiene el bienestar dentro de la productividad de los animales.

REFERENCIAS

- Aggarwal, A., Singh, M., 2010. Hormonal changes in heat-stressed Murrah buffaloes under two different cooling systems. *Buffalo Bull.* 29, 1-6.
- Ahmad, S., Yaqoob, M., Hashmi, N., Zaman, M.A., Amjad, M.S., 2009. Farmers' attitude towards interventions regarding buffalo calf health care and management practices under field conditions. *Pak. Vet. J.* 29, 125-128.
- Ali, M.A., Ahmad, M.D., Muhammad, K., Anjum, A.A., 2011. Prevalence of sub clinical mastitis in dairy buffaloes of Punjab, Pakistan. *J. Anim. Plant Sci.* 150, 42.

- Aspilcueta-Borquis, R.R., Neto, F.R.A., Baldi, F., Santos, D.J.A., Albuquerque, L.G., Tonhati, H., 2012. Genetic parameters for test-day yield of milk, fat and protein in buffaloes estimated by random regression models. *J. Dairy Res.* 79, 272–279. <https://doi.org/10.1017/S0022029912000143>
- Berry, D.P., McCarthy, J., 2012. Genetic and non-genetic factors associated with milking order in lactating dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 136, 15–19. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.11.012>
- Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Morales, A., Orozco, C.C., Mota-Rojas, D., 2019a. Capítulo 7. Los sistemas de producción de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). *El búfalo de agua en las Américas* (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Bertoni, A., Álvarez, A., Mota-Rojas, D., 2019b. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 19 (38), 59-80.
- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J., Legarreta, I.G.-, 2020. Similarities and Differences between River Buffaloes and Cattle : Health , Physiological , Behavioral and Productivity Aspects 92–109.
- Bertoni, A., Mota-Rojas, D.; Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P.,

- Guerrero-Legarreta, I. et al. 2020b. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 8:288-297. doi.org/10.31893/jabb.20038
- Bhatti, S.A., Sarwar, M., Khan, M.S., Hussain, S.M.I., 2007. Reducing the age at first calving through nutritional manipulations in dairy buffaloes and cows: A review. *Pak. Vet. J.* 27, 42.
- Borghese, A., 2013. Buffalo livestock and products in Europe. *Sci. Bull. Escorena.* 32, 50-74.
- Borghese, A., Rasmussen, M., Thomas, C.S., 2007. Milking management of dairy buffalo. *Ital. J. Anim Sci.* 6, 39-50. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.39>
- Borghese, A., 2005. Buffalo production and research. Food and Agriculture Organization of The United Nations (Italy). 67, 1-321.
- Catillo, G., Macciotta, N.P.P., Carretta, A., Cappio-Borlino, A., 2002. Effects of age and calving season on lactation curves of milk production traits in Italian water buffaloes. *J. Dairy Sci.* 85, 1298-1306. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74194-5](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74194-5)
- Cavallina, R., Roncoroni, C., Campagna, M.C., Minero, M., Canali, E., 2008. Buffalo behavioural response to machine milking in early lactation. *Ital. J. Anim. Sci.* 7, 287-295. <https://doi.org/10.4081/ijas.2008.287>
- Coroian, A., Erler, S., Matea, C.T., Miresan, V., Raducu, C., Bele, C., Coroian, C., 2013. Seasonal changes of buffalo colostrum: physicochemical parameters, fatty acids and cholesterol

variation. Chem. Cent. J. 7, 2-9. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-40>

Crudeli, G.A., Konrad, J.L., Pariño, E.M., 2016. Reproducción en búfalas. Corrientes, Ed. Moglia, Argentina. Pp 272. ISBN: 978-987-619-264-4

De Melo, B.A., Nascimento, I.D.M., Santos, L.T.A.D., De Lima, L.G., De Araújo, F.C.T., Ríos, R.R.S., Couto, A.G., Fraga, A.B., 2018. Body morphometric measurements in Murrah crossbred buffaloes (*Bubalus bubalis*). J. Appl. Anim. Res. 46, 1307-1312. <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1502669>

De Rosa, G., Bordi, A., Napolitano, F., Bilancione, A., Grasso, F., 2007. Effect of housing system on behavioural activity of lactating buffaloes. Ital. J. Anim. Sci. 6, 506-508. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.1s.506>

De Rosa, G., Grasso, F., Braghieri, A., Bilancione, A., Di Francia, A., Napolitano, F., 2009b. Behavior and milk production of buffalo cows as affected by housing system. J. Dairy Sci. 92, 907-912. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1157>

De Rosa, G., Grasso, F., Pacelli, C., Napolitano, F., Winckler, C., 2009a. The welfare of dairy buffalo. Ital. J. Anim. Sci. 8, 103-116. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s1.103>

De Rosa, G., Napolitano, F., Grasso, F., Bilancione, A., Spadetta, M., Pacelli, C., Van Reenen, K., 2007a. Welfare Quality®: a pan-European integrating project including buffalo. Ital. J. Anim. Sci. 6(2), 1360-1363. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.1360>

- De Rosa, G., Napolitano, F., Grasso, F., Pacelli, C., Bordi, A., 2005. On the development of a monitoring scheme of buffalo welfare at farm level. *Ital. J. Anim. Sci.* 4, 115-125. <https://doi.org/10.4081/ijas.2005.115>
- De Rosa, G., Napolitano, F., Saltalamacchia, F., Bilancione, A., Sabia, E., Grasso, F., Bordi, A., 2007b. The effect of rearing system on behavioural and immune responses of buffalo heifers. *Ital. J. Anim. Sci.* 6, 1260–1263. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.1260>
- De Rosa, G., Tripaldi, C., Napolitano, F., Saltalamacchia, F., Grasso, F., Bisegna, V., Bordi, A., 2003. Repeatability of some animal-related variables in dairy cows and buffaloes. *Anim. Welfare.* 12, 625-629.
- Di Palo, R., Ariota, B., Zicarelli, F., De Blasi, M., Zicarelli, G., Gasparrini, B., 2009. Incidence of pregnancy failures in buffaloes with different rearing system. *Ital. J. Anim. Sci.* 8, 619-621. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s2.619>
- Dubey, P., Singh, R.R., Choudhary, S.S., Verma, K.K., Kumar, A., Gamit, P.M., Dubey, S., Prajapati, K., 2018. Post parturient neonatal behaviour and their relationship with maternal behaviour score, parity and sex in Surti buffaloes. *J. Appl. Anim. Res.* 46, 360-364. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1306533>
- Estévez-Alfayate, J., Cero, A., Guevara, G., 2019. Pruebas de comportamiento durante 2006-2016 en la provincia de Camagüey, Cuba. *Rev. Ecuatoriana Cien. Anim.* 3, 42-45.

- Fericean, L.M., 2016. Observations regarding the buffalo's behavior raising in extensive system. *Res. J. Agric. Sci.* 48, 42-49.
- Flower, F.C., Sanderson, D.J., Weary, D.M., 2006. Effects of milking on dairy cow gait. *J. Dairy Sci.* 89, 2084-2089. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72278-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72278-0)
- Grasso, F., De Rosa, G., Napolitano, F., Di Francia, A., Bordi, A., 2007. Entrance order and side preference of dairy cows in the milking parlour. *Ital. J. Anim. Sci.* 6, 187-194. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.187>
- Górecki, M.T., Wójtowski, J., 2004. Stability of milking order in goat over a long period (short communication). *Archiv fur Tierzucht.* 47, 203-208. <https://doi.org/10.5194/aab-47-203-2004>
- Hemsworth, P.H., Coleman, G.J., 2011. Human–livestock interactions, 2nd ed. CABI, Wallingford, UK. Pp. 194. ISBN: 9781845936730
- Hofi, M., 2013. Buffalo milk cheese. *Buffalo Bull.* 32, 355-360.
- Hoogesteijn, R., Hoogesteijn, A., 2008. Conflicts between cattle ranching and large predators in Venezuela: could use of water buffalo facilitate felid conservation? *Oryx.* 42, 132-138. <https://doi.org/10.1017/S0030605308001105>
- Iglesias, G.J.M.I., Galloso-Hernandez, M.A., Toral-Perez, O.C., Aguilar-Hernandez, A. 2019. Productive performance and behavior of grazing river buffaloes and Zebu bulls in a silvopastoral system. *Pastos y Forrajes.* 42, 208-215.
- Jensen, P., Toates, F.M., 1993. Who needs 'behavioural needs'? Motivational aspects of the needs of animals. *Appl. Anim.*

- Behav. Sci. 37, 161-181. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(93\)90108-2](https://doi.org/10.1016/0168-1591(93)90108-2)
- Kalsi, J.S., Randhawa, S.S., Randhawa, S.S., 2002. Clinical and haemato-biochemical studies on overgrown hooves in dairy buffaloes. In. J. Anim. Sci., 72, 543-545.
- Khan, A.Z., Muhammad, G., 2005. Quarter-wise comparative prevalence of mastitis in buffaloes and crossbred cows. Pak. Vet. J. 25, 9-12.
- Khan, Z.U., Khan, S., Ahmad, N., Raziq, A., 2007. Investigation of mortality incidence and managemental practices in buffalo calves at commercial dairy farms in Peshawar City. Res. J. Agric. Biol. Sci. 2, 16-22.
- Koga, A., 1991. Effects of high environmental temperatures on some physicochemical parameters of blood and heat production in swamp buffaloes and Holstein cattle. Anim. Sci. Technol. 62, 1022-1028. <https://doi.org/10.2508/chikusan.62.1022>
- Komárková, M., Bartošová, J., 2013. Lateralized suckling in domestic horses (*Equus caballus*). Anim. Cogn. 16, 343-349. <https://doi.org/10.1007/s10071-012-0575-x>
- Lanier, J.L., Grandin, T., Green, R.D., Avery, D., 2000. La relación entre el temperamento del animal y su reacción a estímulos súbitos e intermitentes. J. Anim. Sci. 78, 1467-1474.
- Loberg, J., Telezhenko, E., Bergsten, C., Lidfors, L., 2004. Behaviour and claw health in tied dairy cows with varying access to exercise in an outdoor paddock. Appl. Anim. Behav. Sci. 89, 1-16.

<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.04.009>

Lopes, F., Coblenz, W., Hoffman, P.C., Combs, D.K., 2013. Assessment of heifer grazing experience on short-term adaptation to pasture and performance as lactating cows. *J. Dairy Sci.* 96, 3138-3152. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6125>

Manjari, R., Yadav, M., Ramesh, K., Uniyal, S., Rastogi, S.K., Sejian, V., Hyder, I., 2015. HSP70 as a marker of heat and humidity stress in Tarai buffalo. *Trop. Anim. Health Prod.* 7, 111-116. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0692-4>

Melin, M., Hermans, G.G.N., Petterson, G., Wiktorsson, H., 2006. Cow traffic in social rank and motivation of cows in an automatic milking system with control gates and open waiting area. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 96, 201-214. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.06.013>

Mitat, V.A., 2011. Antecedentes y perspectivas de la actividad bufalina en el trópico. *Revista Tecnología en Marcha.* 24, 121.

Mohammad, D.R.I., Abdel-Rahman, M.A.M., 2013. A comparative study on behavioral, physiological, and adrenal changes in buffaloes during the first stage of labor with normal and difficult parturition. *J. Vet. Behav. Clin. Appl. Res.* 8, 46-50. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2012.04.005>

Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J., Mota-Rojas, D., Ruiz-Buitrago, J., Nava, A.J., Guerrero-Legarreta, I., 2018a. Behaviour and welfare of dairy buffaloes: pasture or confinement? *J. Buffalo Sci.* 7, 43-48. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2018.07.03.2>

- Mora-Medina, P., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Berdugo-Gutiérrez, J., Ruiz-Buitrago, J., Guerrero-Legarreta, I., 2018b. Imprinting, sucking and allosucking behaviors in buffalo calves. *J. Buffalo Sci.* 7, 49-57. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2018.07.03.3>
- Mota-Rojas D, Velarde A, Maris-Huertas S, Cajiao MN. Animal welfare, a global vision in Ibero-America. [Bienestar Animal una visión global en Iberoamérica]. Barcelona, Spain: Elsevier; 2016. p. 516.
- Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I., Pérez-Álvarez J.A., Rosmini, M., Napolitano, F., Ghezzi, M., Fernández-López, J. Braghieri, A., Viuda, M., Bragaglio, A., & Mora-Medina, P., 2019a. Capítulo 1. La carne de búfalo de agua en las Américas: retos y oportunidades. En: Guerrero-Legarreta I, Napolitano F, Mota-Rojas D. & Orihuela A. (Ed.). *El búfalo de agua en las Américas* (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., & Guerrero-Legarreta, I. Napolitano F., 2019b. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 14(035). <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>
- Mota-Rojas, D., Álvarez, A., Bertoni, A. Molina S., José, N., López, G., Mora, P., Guerrero, I., & Napolitano, F., 2019c. Capítulo 8. La importancia de los animales en labores rurales: tracción, transporte y carga. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F.,

- Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Napolitano, F., Serrapica, F., De Rosa G. et al. 2019d. Capítulo 9. La búfala de agua durante el parto y ordeño: respuestas fisiológicas y conductuales. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 154-191), Segunda edición. México, BM Editores.
- Mota-Rojas, D. Napolitano, F., Sarubbi, J., Braghieri, A., Martínez-Burnes, J., Bertoni, A., Ghezzi, D. et al. 2019e. Capítulo 16. Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja” en Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 512-538), Segunda edición. México, BM Editores.
- Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A., Martínez-Burnes, J., Álvarez-Macías, A., Orihuela, A., 2020a. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. J. Anim. Behav. Biometeorol. 9,2103. <https://doi.org/10.31893/jabb.21003>
- Napolitano, F., De Rosa, G., Grasso, F., Wemelsfelder, F., 2012. Qualitative behaviour assessment of dairy buffaloes (*Bubalus bubalis*). Appl. Anim. Behav. Sci. 141, 91-100. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.08.002>

- Napolitano, F., Grasso, F., Bordi, A., Tripaldi, C., Saltalamacchia, F., Pacelli, C., De Rosa, G., 2005. On-farm welfare assessment in dairy cattle and buffaloes: evaluation of some animal-based parameters. *Ital. J. Anim. Sci.* 4, 223-231. <https://doi.org/10.4081/ijas.2005.223>
- Napolitano, F., Knierim, U., Grasso, F., De Rosa, G., 2009. Positive indicators of cattle welfare and their applicability to on-farm protocols. *Ital. J. Anim. Sci.* 8, 355-365. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s1.355>
- Napolitano, F., Pacelli, C., Grasso, F., Braghieri, A., De Rosa, G., 2013. The behaviour and welfare of buffaloes (*Bubalus bubalis*) in modern dairy enterprises. *Animal.* 7, 1704-1713. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001109>
- Napolitano, F., De Rosa, G., Braghieri, A., Álvarez-Macías, A., Bertoni A., Serrapica, F., 2019. Capítulo 5. Hallazgos recientes sobre la búfala lechera: inventario animal, razas, aspectos reproductivos, de salud y calidad. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). *El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales* (p. 154-191), Segunda edición. México, BM Editores.
- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Braghieri, A., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Cruz-Monterrosa, R., De Rosa, G., 2020. Factores Productivos y su incidencia en el bienestar de la búfala lechera en sistemas de producción extensivos e intensivos. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 20, (40), 155-173.

- Nasr, M.A., 2017. The effect of stillbirth on reproductive and productive performance of pure Egyptian buffaloes and their crosses with Italian buffaloes. *Theriogenol.* 103, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.07.035>
- Neglia, G., Saltalamacchia, F., Thomas, C.S., Rasmussen, M.D., 2008. Milking management of dairy buffaloes. Milking routines. *Bull. Int. Dairy Fed.* 426, 69-83.
- Nilsson, H., Tuncer, B., Thidell, A., 2004. The use of eco-labeling like initiatives on food products to promote quality assurance—is there enough credibility? *J. Cleaner Prod.* 12, 517-526. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(03\)00114-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(03)00114-8)
- Nowak, R., Porter, R.H., Levy, F., Orgeur, P., Schaal, B., 2000. Role of mother-young interactions in the survival of offspring in domestic mammals. *Rev. Reprod.* 5, 153-163. <https://doi.org/10.1530/ror.0.0050153>
- Orihuela, A., Mota-Rojas, D., Velarde, A., Strappini-Asteggiano, A., Thielo de la Vega, L., Borderas-Tordesillas, F., Alonso-Spilsbury, M., 2018. Invited review: environmental enrichment to improve behaviour in farm animals. *CAB Rev.* 13 (059):1–25. doi: 10.1079/PAVSNNR201813059
- Pages, R., 2003. Búfalos una alternativa para leche y carne. sitio:<http://www.cubahora.cu>
- Penati, C., Berentsen, P.B.M., Tamburini, A., Sandrucci, A., De Boer, I.J.M., 2011. Effect of abandoning highland grazing on nutrient balances and economic performance of Italian Alpine dairy

- farms. *Livest. Sci.* 139, 142-149.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.008>
- Phillips, C.J.C., Llewellyn, S., Claudia, A., 2003. Laterality in bovine behavior in an extensive partially suckled herd and an intensive dairy herd. *J. Dairy Sci.* 86, 3167-3173.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73919-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73919-8)
- Poindron, P., 2005. Mechanisms of activation of maternal behaviour in mammals. *Reprod. Nutrit. Develop.* 45, 341-351.
<https://doi.org/10.1051/rnd:2005025>
- Polikarpus, A., Grasso, F., Pacelli, C., Napolitano, F., De Rosa, G., 2014a. Milking behaviour of buffalo cows: entrance order and side preference in the milking parlour. *J. Dairy Res.* 81, 24-29.
<https://doi.org/10.1017/S0022029913000587>
- Polikarpus, A., Kaart, T., Mootse, H., De Rosa, G., Arney, D., 2015. Influences of various factors on cows' entrance order into the milking parlour. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 166, 20-24.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.02.016>
- Polikarpus, A., Napolitano, F., Grasso, F., Di Palo, R., Zicarelli, F., Arney, D., De Rosa, G., 2014b. Effect of pre-partum habituation to milking routine on behaviour and lactation performance of buffalo heifers. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 161, 1-6.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.10.003>
- Prasad, R.M.V., Laxmi, P.J., 2014. Studies on the temperament of murrah buffaloes with various udder and teat shapes and its

- effect on milk yield. *Buffalo Bull.* 33, 170-6.
<https://doi.org/10.14456/ku-bufbu.2014.31>
- Prelle, I., Phillips, C.J.C., Paranhos da Costa, M.J., Vandenberghe, N.C., Broom, D.M., 2004. Are cows that consistently enter the same side of a two-sided milking parlour more fearful of novel situations or more competitive? *Appl. Anim. Behav. Sci.* 87, 193-203. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.01.014>
- Purohit, G.N., Barolia, Y., Shekhar, C., Kumar, P., 2011. Maternal dystocia in cows and buffaloes: a review. *Open J. Anim. Sci.* 1, 41. <https://doi.org/10.4236/ojas.2011.12006>
- Purohit, G.N., Kumar, P., Solanki, K., Shekher, C., Yadav, S.P., 2012. Perspectives of fetal dystocia in cattle and buffalo. *Vet. Sci. Dev.* 2, 8. <https://doi.org/10.4081/vsd.2012.3712>
- Rahangdale, P.B., Ambulkar, D.R., Somnathe, R.D., 2011. Influence of summer managemental practices on physiological responses and temperament in murrah buffaloes. *Buffalo Bull.* 30, 139-147.
- Ramírez, M., Soto, R., Poindron, P., Álvarez, L., Valencia, J.J., González, F., Terrazas, A., 2011. Maternal behaviour around birth and mother-young recognition in Pelibuey sheep. *Vet. Mex.* 42, 27–46.
- Réale, D., Reader, S.M., Sol, D., McDougall, P.T., Dingemanse, N.J., 2007. Integrating animal temperament within ecology and evolution. *Biol. Rev.* 82, 291-318.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2007.00010.x>

- Rijasnaz, V.V., Mondal, S.K., Fahim, A., 2014. Effect of weaning on the postpartum reproductive performance of Murrah buffaloes. *Indian J. Anim. Res.* 48, 501-503. <https://doi.org/10.5958/0976-0555.2014.00019.3>
- Robins, A., Phillips, C., 2010. Lateralized visual processing in domestic cattle herds responding to novel and familiar stimuli. *Laterality*. 15, 514-534. <https://doi.org/10.1080/13576500903049324>
- Sabia, E., Napolitano, F., Claps, S., De Rosa, G., Barile, V.L., Braghieri, A., Pacelli, C., 2018. Environmental impact of dairy buffalo heifers kept on pasture or in confinement. *Agricult. Syst.* 159, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.10.010>
- Sabia, E., Napolitano, F., De Rosa, G., Terzano, G.M., Barile, V., Braghieri, A., Pacelli, C., 2014. Efficiency to reach age of puberty and behaviour of buffalo heifers (*Bubalus bubalis*) kept on pasture or in confinement. *Animal*. 8, 1907–1916. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001876>
- Saltalamacchia, F., Tripaldi, C., Castellano, A., Napolitano, F., Musto, M., De Rosa, G., 2007. Human and animal behaviour in dairy buffalo at milking. *Anim. Welf.* 16, 139-142.
- Salzano, A., Licitra, F., D'Onofrio, N., Balestrieri, M. L., Limone, A., Campanile, G., D'Occhio, M.J., Neglia, G., 2019. Space allocation in intensive Mediterranean buffalo production influences the profile of functional biomolecules in milk and dairy products. *J. Dairy Sci.* 102, 7717-7722. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16656>

- Sathya, A., Prabhakar, S., Sangha, S.P.S., Ghuman, S.P.S., 2007. Vitamin E and selenium supplementation reduces plasma cortisol and oxidative stress in dystocia-affected buffaloes. *Vet Res. Commun.* 31, 809-818. <https://doi.org/10.1007/s11259-007-0116-2>
- Senosy, W., Hussein, H.A., 2013. Association among energy status, subclinical endometritis postpartum and subsequent reproductive performance in Egyptian buffaloes. *Anim. Reprod. Sci.* 140, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.05.004>
- Shah, S.N.H., Willemse, A.H., Van de Wiel, D.F.M., Engel. B., 1989. Influence of season and parity on several reproductive parameters in Nili-Ravi buffaloes in Pakistan. *Anim. Reprod. Sci.* 21, 177-190. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(89\)90026-2](https://doi.org/10.1016/0378-4320(89)90026-2)
- Shenhe, L., Jun, L., Zipeng, L., Tingxian, D., Ur Rehman, Z., Zichao, Z., 2018. Effect of season and breed on physiological and blood parameters in buffaloes. *J. Dairy Res.* 85, 181-184. <https://doi.org/10.1017/S0022029918000286>
- Singh, P.K., Kamboj, M.L., Chandra, S., Kumar, R., 2017. Effect of calf suckling dummy calf used and weaning on milk ejection stimuli and milk yield of Murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*). *J. Pharmacogn. Phytochem.* 1, 1012-1015.
- Simón, L., Galloso, O., 2003. Presencia y perspectivas de la cría de búfalos en Cuba. *Rev. Pastos y Forrajes.* 34.

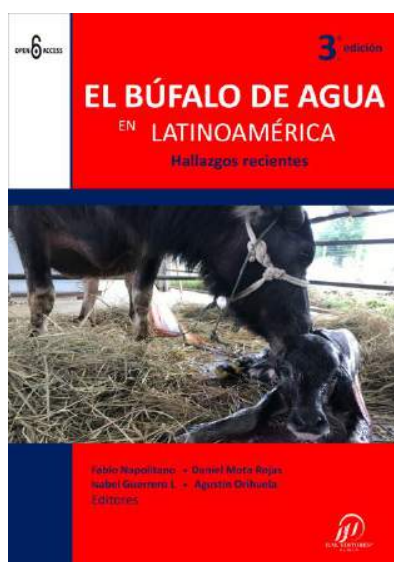
- Stafford, K.J., Gregory, N.G., 2008. Implications of intensification of pastoral animal production on animal welfare. *New Zealand Vet. J.* 56, 274–280. <https://doi.org/10.1080/00480169.2008.36847>
- Thomas, C.S., 2004. Milking management of dairy buffaloes. [dissertation]. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Thomas, C.S., Nordstrom, J., Svennersten-Sjaunja, K., Wiktorsson, H., 2005. Maintenance and milking behaviours of Murrah buffaloes during two feeding regimes. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 91, 261–276. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.11.002>
- Tripaldi, C., De Rosa, G., Grasso, F., Terzano, G.M., Napolitano, F., 2004. Housing system and welfare of buffalo (*Bubalus bubalis*) cows. *Anim. Sci.* 78, 477-483. <https://doi.org/10.1017/S1357729800058872>
- Versace, E., Morgante, M., Pulina, G., Vallortigara, G., 2007. Behavioural lateralization in sheep (*Ovis aries*). *Behav. Brain Res.* 184, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2007.06.016>
- Yadav, A.K., Pramanik, P.S., Kashyap, S.S., 2009. Dam-calf interactions in Murrah buffaloes up to six hours post-parturition. *Indian J. Anim. Prod. Manag.* 25, 78-80.



CAPÍTULO 4

LA CARNE DE BÚFALO DE AGUA EN LAS AMÉRICAS: RETOS Y OPORTUNIDADES

Basappa M. Naveena, Daniel Mota-Rojas, Isabel Guerrero-Legarreta, José Ángel Pérez-Álvarez, Patricia Mora-Medina, Marcelo R. Rosmini, Marcelo Daniel Ghezzi, Juana Fernández-López, Ada Braghieri, Manuel Viuda-Martos, Andrea Bragaglio y Fabio Napolitano



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición



CAPÍTULO 4

La carne de búfalo de agua en las Américas: retos y oportunidades

Basappa M. Naveena¹, Daniel Mota-Rojas², Isabel Guerrero-Legarreta³, José Ángel Pérez-Álvarez⁴, Patricia Mora-Medina⁵, Marcelo R. Rosmini⁶, Marcelo Daniel Ghezzi⁷, Juana Fernández-López⁴, Ada Braghieri⁸, Manuel Viuda-Martos⁴, Andrea Bragaglio⁹ y Fabio Napolitano⁸

¹ICAR-National Research Centre on Meat, Chengicherla, Hyderabad, Telangana, India.

²Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.

³Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-I. Ciudad de México. México.

⁴Departamento de Tecnología Agroalimentaria, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH), España.

⁵Departamento de Ciencias Pecuarias. Universidad Nacional Autónoma de México. FESC. México.

⁶Departamento de Salud Pública Veterinaria. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Litoral. Esperanza, Provincia de Santa Fe, Argentina.

⁷Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina.

⁸Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

⁹Universidad "Aldo Moro" de Bari, Departamento de Medicina Veterinaria. Italia.

Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), teniendo en cuenta las condiciones de pobreza en la que viven millones de habitantes del planeta (Berry, 2004), organizó la Cumbre Mundial de la Alimentación. Como resultado de dicha cumbre, se ha generado la definición de *seguridad alimentaria*, que se define como: *"Todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos, a fin de llevar una vida activa y sana"* (FAO, 1996). Cabe



señalar que dicho concepto constituye la situación “ideal”, sin embargo, en la realidad la situación es muy distinta. Desde el año 2014, en América Latina y el Caribe la subalimentación no ha aumentado, pero su prevalencia se ha mantenido en torno al 6.1% de la población.

Por otro lado, desde ese mismo año, el número de personas con falta de acceso a los alimentos se ha incrementado constantemente. Varias estimaciones de organismos internacionales (FAO, OPS, WFP y UNICEF, 2018) indicaron que en el año 2017 unos 39.3 millones de latinoamericanos y caribeños sufrían esta condición. Dentro de la agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, se pretende, como uno de los objetivos, poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición, así como promover la agricultura sostenible (FAO, OPS, WFP y UNICEF, 2018).

En la Figura 1 se detallan los datos de la población con hambre en América Latina y el Caribe, por países; considerando que en la región y en el año 2013 había unos 50 millones de personas con hambre, y que, en esas fechas, se necesitaban en promedio 25 centavos de dólar al día, para dar de comer a un niño que padece hambre (FAO, 2013).

No obstante, el ritmo al que todo esto está cambiando por las crisis de influenza y otros coronavirus, pone en riesgo décadas de progreso en la lucha contra el hambre y la pobreza (ONU, 2019a). La Comisión Económica para América Latina y el Caribe prevé que la economía de la región se vea impactada debido a las exportaciones, el turismo, los suministros, el precio de los productos y la inversión, repercutiendo en

un aumento de hasta el 10% del desempleo y la pobreza, que en la región podría alcanzar a 220 millones de personas (ONU, 2019b).



Figura 1. Mapa de América Latina y el Caribe con el porcentaje de personas que padecen hambre durante el periodo 2011-2013.
Modificado de FAO, (2013).

Ante este panorama se deben aportar alternativas para combatir el estado de desnutrición y hambre de la región latinoamericana; una de ellas es la incorporación de especies animales de alta eficiencia productiva, con un perfil que permita producir alimentos de alto valor biológico y con valor económico agregado (Mota-Rojas et al., 2019a; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b; 2020a,b), además de considerar

que la producción sea sustentable y amigable con el medio ambiente. Bajo este contexto, se ha promocionado y diseminado como alternativa la producción de leche y carne de búfalo de agua con diferentes alternativas y retos desde el nacimiento de las crías, su reproducción/producción y hasta su muerte en el matadero (Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; Guerrero et al., 2019a,b; Mota-Rojas et al., 2019c,d,e,f; Guerrero-Legarreta et al., 2020a,b; Alarcón-Rojo et al., 2020; Bertoni et al., 2020a,b; Cruz-Monterrosa et al., 2020; Mota-Rojas et al., 2020a,b; Napolitano et al., 2020).

El búfalo de agua doméstico (*Bubalus bubalis*) se encuentra distribuido en 48 países con una población mundial de aproximadamente 200 millones de ejemplares, lo que lo convierte en la sexta especie de ganado más abundante, después de la producción de pollos, vacas, ovejas, cabras y cerdos (Young et al., 2019). Por ello, el objetivo de este capítulo es contrastar la información existente acerca de la producción de carne proveniente del búfalo de agua, como una alternativa productiva en América, destacando las áreas de oportunidad y fortalezas, así como los retos que enfrenta la producción de esta especie animal en la región.

BÚFALO DE AGUA EN LAS AMÉRICAS

De acuerdo con datos de la FAO, en la Región de las Américas, la población humana se encuentra habitando principalmente la zona urbana (81.2%), mientras que una reducida proporción se ubica en la

zona rural (18.8%), y es ésta última la que se encarga de producir el alimento para toda la población (FAOSTAT, 2019). Por lo tanto, también es esta zona rural, donde cada vez más frecuentemente se reducen los espacios para el cultivo y el pastoreo (Mora-Medina et al., 2018; Mora-Medina et al., 2019), que deben ser mucho más eficientes y sustentables para la producción de alimentos de alto valor biológico, como la carne y la leche (Mota-Rojas et al., 2019a,b; Cruz-Monterrosa et al., 2020; Napolitano et al., 2020; Mota-Rojas et al., 2020b). Sin embargo, como la mayor parte de los ecosistemas de las Américas son de tipo templado, tropical o semitropical (Figura 2), en orografías llanas y montañosas, se deben seleccionar las especies animales que puedan desempeñarse de forma óptima en estas condiciones ambientales. En este sentido, para esta región, se ha optado como una alternativa, la crianza del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) (Mora-Medina et al., 2019).



Figura 2. Búfalo de agua en el trópico latinoamericano

En 1895, esta especie animal, procedente de Indochina, fue introducida al continente americano, a través de la Guayana Francesa, con el fin de apoyar las labores en los centros penales (Romero-Salas y Pérez-De León, 2014). El búfalo es una especie rústica, favorecida por los ecosistemas tropicales de Latinoamérica y paulatinamente ha ido sustituyendo al ganado bovino del género *Bos* (reses) y ocupando espacios que no son apropiados para otras especies (Gómez et al., 2007; Bertoni et al., 2019a,b; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b;; Mora-Medina et al., 2019; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c,d; Mota-Rojas et al., 2020a).

En Argentina, existen divergencias en referencia a la introducción de los primeros búfalos; Carrazoni (1998) menciona que fueron introducidos a principios del siglo XX procedentes de Rumanía a la provincia de Entre Ríos intentando cruzarlos con bovinos para la producción de leche. Mientras que Zava (1992) menciona que los búfalos fueron introducidos entre 1900 y 1920 desde la Isla de Marajó (Brasil), así como desde Italia y Rumanía, difundiéndose en las provincias de Corrientes, Entre Ríos, Santa Fe, Buenos Aires y La Pampa, donde los productores intentaron cruzarlos con los bovinos, y al no conseguirlo, fueron abandonados criándose en sistema al aire libre hasta fines de 1970. En 1983 se creó la Asociación Argentina de Criadores de Búfalos (AACB) y en 1985 se registraron los primeros planteles puros abriéndose el primer libro de registros genealógicos (Crudeli et al., 2014). Similares asociaciones se han creado en

Venezuela (Asociación Civil de Criadores de Búfalo de Venezuela, CRIABUFALOS) y Colombia (ASOCIACIÓN Colombiana de Criadores de Búfalos, ACB). En estos últimos países, el objetivo de la cría de estos animales fue la producción láctea, más que la producción de carne. En 2019, Venezuela produjo más leche de búfalo que de razas lecheras convencionales y es el primer productor de leche de búfalo en Sudamérica (Anónimo, 2019).

La población de búfalos en Latinoamérica va en auge, lo que puede comprobarse analizando los datos de diferentes países. En Colombia se ha reportado un crecimiento anual cercano al 10%, cifra superior al 3% del crecimiento de la ganadería bovina tradicional (Gómez et al., 2007). En Argentina, Crudeli et al. (2014) mencionan que, de acuerdo a los datos oficiales aportados por el SENASA, la población de búfalos en Argentina en el año 2014 era de 87,711 cabezas y según Alarcón (2017) para el año 2017 superaban las 195,000 cabezas. En Cuba, se estimaba una población superior a los 88,000 animales para el año 2010 (Brito, 2009). En Venezuela, en 2019, existen aproximadamente, 2,000 000 de animales y estiman tener un crecimiento anual de 12% para cerrar con 2,300 000 en 2019 (Anónimo, 2019).

BONDADES DE LA PRODUCCIÓN DE BÚFALO DE AGUA Y SUS PRODUCTOS

Rusticidad y adaptabilidad

Se considera que un animal es rústico o tiene rusticidad cuando posee características heredables que le permiten superar las variaciones aleatorias y adversas del medio ambiente, sin disminuir demasiado su capacidad productiva (Sauvant y Martin, 2010; Bertoni et al., 2019a,b; 2020; Mota-Rojas et al., 2019a,b). Los búfalos de agua son animales que, debido a su rusticidad, tienen una alta adaptabilidad (Harsojo y Sari, 2015), ya que están bien adaptados a suelos con bajos índices de fertilidad, pueden desarrollarse mejor en áreas pantanosas, que le permiten la termorregulación al sumergirse en las pozas o lodazales (Mota-Rojas et al., 2019a,e,f; Bertoni et al., 2019a,b; Bertoni et al., 2020a,b; Mota-Rojas et al., 2020a). De igual manera, son capaces de convertir forraje de baja calidad en proteínas de alto valor y transformarla en carne y leche de buena calidad (Verdurico et al., 2012; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b). Asimismo, es un animal que puede llegar a ser longevo, ya que su periodo de vida es tres o cuatro veces mayor que el ganado vacuno del género *Bos*. El búfalo puede vivir un promedio de 20 a 30 años, con una vida útil reproductiva entre 18 y 20 años, ya que puede ser productivo hasta los 25 años, aunque lo más habitual es que lo sea entre 6 a 7 años (Almaguer-Pérez, 2010; Napolitano et al., 2020; Guerrero-Legarreta et al., 2019b;2020b).

El búfalo puede vivir en ambientes con áreas sombreadas, cálidas y húmedas; cabe señalar que, aun cuando tiene poca eficiencia para liberar calor por sudor mediante sus pocas glándulas sudoríparas distribuidas en la piel (De Rosa et al., 2009; Mota-Rojas et al., 2019f; Bertoni et al., 2019a,b; Mota-Rojas et al., 2020a), es capaz de resistir temperaturas ambientales entre 0° y 45° C (Romero-Wankar et al., 2014). Para mayores detalles sobre termorregulación del búfalo revisar los capítulos de la sección III, termorregulación y ambiente.

Los indicadores fisiológicos del búfalo se encuentran en óptimas condiciones cuando se mantienen a temperaturas ambientales entre 25 y 30°C, ya que a temperaturas más altas (35 a 40°C) se observa estrés térmico, manifestado con incrementos significativos en los siguientes valores: temperatura rectal (entre 38.01 y 38.77°C respectivamente) y frecuencia respiratoria (28.66 a 72.02 respiraciones/min, respectivamente). Sin embargo, cuando se toma el pulso en la vena coccígea, éste disminuye a altas temperaturas, y los valores más altos se obtienen a temperaturas comprendidas entre 25°C y 30°C, registrando 49.35 y 52.88 latidos/min, respectivamente. Además, en ambientes óptimos, los búfalos presentan su mayor tasa de crecimiento, alcanzando el peso para el rastro o frigorífico en periodos más cortos (Gómez et al., 2007).

El búfalo de agua tiene bajos índices de mortalidad, alta resistencia a patógenos (Harsojo y Sari, 2015), tales como las infecciones

parasitarias, y poca susceptibilidad al desarrollo de enfermedades comúnmente observadas en el ganado (Mora-Medina et al., 2018; Bertoni et al., 2019a,b; Mota-Rojas et al., 2019a,b; Mota-Rojas et al., 2020a; Guerrero-Legarreta et al., 2019b; 2020b).

Además esta especie tiene baja propensión a las infecciones del tracto reproductivo y de la glándula mamaria, así como a problemas gástricos. Este animal es bastante manejable debido a su temperamento dócil, lo cual facilita la realización de las prácticas productivas, además de un manejo seguro para los operarios cuando se destinan al trabajo rural (Desta, 2012; Verdurico et al., 2012; Mota-Rojas et al., 2019c). Para mayores detalles sobre el búfalo como animal de trabajo consultar el capítulo “La importancia de los animales en labores rurales, tracción, transporte y carga”.

Eficiencia en la utilización de insumos

El búfalo de agua requiere poca inversión en recursos económicos para su alimentación, debido a que puede consumir una variedad más amplia de forraje (especialmente los forrajes toscos, nativos de muchas zonas tropicales y subtropicales de Latinoamérica) (Merle et al., 2004) y, ser tan adaptables a los climas cálidos, en comparación con el ganado vacuno, lo cual reduce los costos por este rubro. Además, presenta mejores tasas de conversión alimenticia (Gómez et al., 2007), y es más eficiente en la utilización de insumos si se compara con el

ganado del género *Bos*, lo que es atribuible a la mayor actividad celulolítica por unidad de peso de la ingesta (Almaguer-Pérez, 2007) relacionada con las características morfológicas del rumen (mayor tamaño), funcionales (menos movimientos), así como mayor cantidad (De Rosa et al., 2009) y actividad bacteriana (10.78 Vs. 10.08 log₁₀ células por gramo de contenido ruminal seco; Puppo et al., 2002), al igual que más proporción de protozoarios ruminales (Barbosa et al., 2003). Asimismo, el búfalo de agua tiene mayor tasa de digestibilidad de proteína cruda, en algunas dietas (Puppo et al., 2002; Bertoni et al., 2019a,b; Bertoni et al., 2020a).

Bartocci et al. (2005) encontraron que la degradabilidad de la proteína cruda y la síntesis de proteína microbiana son mayores en el búfalo que en el ganado vacuno. De esta manera, se ha determinado que los búfalos de agua pueden vivir con una dieta de baja calidad. Sin embargo, la información que existe en el trópico americano acerca de la eficiencia digestiva y el comportamiento alimentario de esta especie es limitada y muchas veces contradictoria (Almaguer-Pérez, 2007). Peixoto et al. (2014) estudiaron búfalos de agua Murrah con pesos de 400 kg y aproximadamente 27 meses de edad en la región Amazónica del este de Brasil. Estos animales fueron finalizados en un sistema silvopastoril y alimentados con tres tratamientos: residuos de palma, coco y maíz. Los investigadores encontraron que, con residuos de palma y coco, los parámetros fisicoquímicos y sensoriales en calidad de la carne del músculo *Longissimus dorsi* (pH, color y fuerza al corte)

fueron similares a los parámetros encontrados en carne de calidad superior; además, eran similares a la carne de animales alimentados con dietas a base de maíz. En estas condiciones se reducen considerablemente los costos de producción para los pequeños productores rurales, así como el impacto ambiental por deforestación, cuando se habilitan las praderas para pastoreo (Peixoto et al., 2014).

Beneficios para la salud humana

El consumo habitual de carne de búfalo de agua aporta beneficios para la nutrición humana y por consiguiente para la salud del consumidor (Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b,c; Guerrero-Legarreta et al., 2020a,b; Bertoni et al., 2019a,b). Según Bavera (2011), la estructura muscular del búfalo es prácticamente idéntica a la del bovino doméstico del género *Bos*, tienen una distribución y estructura de los músculos similar, pero difieren en la distribución y cantidad de grasa. La carne de búfalo contiene poca grasa entre los músculos y ninguna dentro de los mismos. La carne se conforma principalmente con grasa de cobertura, grasa intermuscular pero carente de grasa intramuscular, siendo ésta última grasa casi ausente, la que convierte a la carne de búfalos en magra. Se ha considerado que la carne de búfalo puede satisfacer los requerimientos de las mujeres en cuanto a zinc, colesterol y vitaminas del complejo B (Tamburrano et al., 2019). Además, se ha comprobado que la carne de búfalo, en comparación con la de res, tiene un rendimiento energético más bajo (131 kcal en

comparación con 289 kcal por 100 g de carne cocida) y una mayor concentración de proteínas (26.8 g frente a 24.1 g), una menor concentración de lípidos (1.8 g frente a 20.7 g), especialmente ácidos grasos saturados (0.6 g frente a 8.1 g), y un contenido de hierro similar (2.1 mg y 2,4 mg) (Giordano et al., 2010). Ante este hecho, Giordano et al. (2010), realizaron una investigación durante 12 meses que incluía a 200 hombres y mujeres adultas en un intervalo de edad de 40 a 69 años, con actividad adecuada para disminuir riesgos cardiovasculares. Uno de los grupos consumió un kilogramo de carne de búfalo por semana. En el estudio se incluyó el análisis de metabolitos sanguíneos. Los resultados reportan que después de unas semanas de cambiar el consumo de carne de vacuno del género *Bos* por la de búfalo, los consumidores mostraron beneficios en los biomarcadores sanguíneos relacionados con riesgo cardiovascular. Se encontraron bajos niveles totales de colesterol, altos niveles de colesterol ligados a lipoproteínas de alta densidad y bajo nivel de triglicéridos; es decir, un perfil lipídico en sangre más favorable para la salud, además de una menor carga aterosclerótica en la arteria carótida y una menor susceptibilidad al estrés oxidativo. Sin embargo, los investigadores recomiendan, llevar a cabo más estudios que validen sus hallazgos. Para mayores detalles sobre el tema consulta los capítulos relacionados con calidad de la carne de búfalo de agua.

RETOS EN LA PRODUCCIÓN DE CARNE DE BÚFALO DE AGUA Y SUS DERIVADOS

Aturdimiento para el consumo

El búfalo ha estado ocupando la misma infraestructura en instalaciones que el ganado vacuno del género *Bos* tanto en ranchos como en rastros o mataderos, lo cual ha comprometido negativamente su bienestar. Sin embargo, las etapas importantes en el abasto de carne son aquellas *ante-mortem* en el matadero como el embarque, transporte y desembarque. Para llevar a cabo el aturdimiento que origine la insensibilización, se emplean dispositivos de perno cautivo convencionales, en la posición frontal, los cuales tienen la limitante de producir lesiones cerebrales severas para la pérdida de consciencia, independientemente de su sexo y edad (Schwenk et al., 2016). Schwenk *et al.* (2016), sugieren que, es posible usar los dispositivos convencionales penetrando más fácilmente desde el punto de contacto occipital, en la depresión ventral a la protuberancia intercornueal y en dorsal de los puntos de inserción del ligamento nuchal (HSA, 2018). Esta propuesta surge porque anatómicamente la cabeza de los búfalos es muy diferente a la del bovino doméstico del género *Bos*. En la Figura 3, se esquematiza la localización y la posición de disparo utilizada según método usado en el bovino (res) y en el búfalo de agua. Para más información al respecto, consulte los capítulos relacionados con signos de retorno a la sensibilidad y evaluación del dolor durante la muerte.

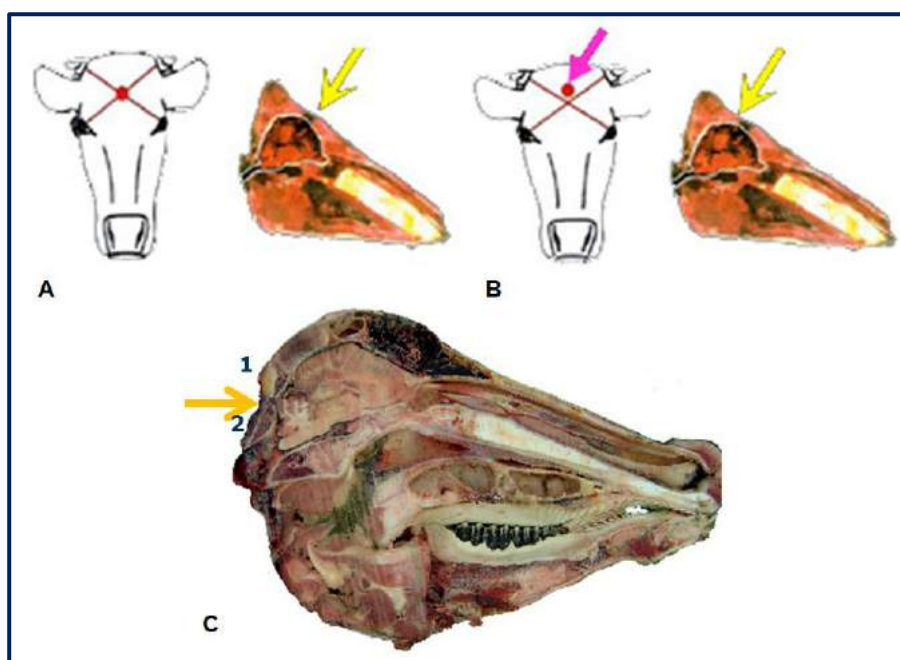


Figura 3. Localización y posiciones de disparo. A. Método perno cautivo penetrante en el bovino género *Bos*; B. Método perno cautivo no penetrante en el bovino género *Bos*; C. Método de perno cautivo utilizado en el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*), 1. Proceso intercornual; 2. Lugar de inserción del ligamento nual, entre ambos puntos depresión del hueso occipital. Las flechas indican la dirección en que debe orientarse el disparo (Mota-Rojas et al., 2020b).

La cabeza del búfalo de agua evita que los pernos cautivos con una longitud de 90 mm lleguen a la cavidad craneal, debido a que tiene más ancho el seno frontal, presenta placas óseas más duras y hay mayor engrosamiento de la piel. Inclusive los pernos más largos (hasta 180 mm) pueden no resultar efectivos en la pérdida de consciencia.

Por ello, Meichtry et al. (2018), evaluaron una pistola de bala específicamente desarrollada para el aturdimiento de búfalos de agua. El dispositivo consta de una escopeta doble de 9 mm, con un dispositivo de seguridad, en caso de ser necesario un segundo disparo, utilizando municiones calibre 357. Este tipo de equipamiento es

efectivo en la pérdida profunda de la consciencia (insensibilización), excepto para toros longevos. Por ello, es importante no dar por hecho que la alimentación, el sistema de manejo, las instalaciones y los métodos de aturdimiento usados para el bovino del género *Bos*, deben ser los mismos que para el búfalo de agua (Mota-Rojas et al., 2020b). Para mayores detalles de la calidad del aturdimiento en el búfalo, consulte el capítulo de signos de retorno a la sensibilidad en grandes rumiantes o vaya a la sección de “Calidad de muerte”.

Aceptación por el consumidor de productos de valor agregado

En muchos países, la mayoría de los búfalos destinados a sacrificio son animales que han llegado al final de su vida productiva (viejos, débiles o flacos), por ello la percepción generalizada por parte de los consumidores es que la carne de búfalo es de “pobre calidad” (Moran, 1992; de Franciscis y Moran, 1992).

Varios estudios han comparado la carne de res (género *Bos*) con la de búfalo en la fabricación de productos cárnicos, como las hamburguesas. Silva et al. (2014) compararon las características sensoriales y fisicoquímicas entre hamburguesas elaboradas con carne procedente de los músculos *Quadriceps femoris*, *Rectus femoris* y *Vastus* de bovino Nelore (*Bos indicus indicus*) castrado (2 años y 526 kg, peso en vivo), y carne de búfalo Mediterráneo (*Bubalus bubalis*) castrado (2 años y 439 kg, peso en vivo).

En este estudio las características tecnológicas (pérdida de peso en la cocción, contracción, fuerza de corte y pH), físicas (color $L^*a^*b^*$),

sensoriales (apariencia, textura, sabor y calidad global y aceptación por parte de los panelistas) fueron similares. En lo único que se diferenciaron fue en la jugosidad (escala de 0 a 9, donde 0 era nula aceptación y 9 excelente aceptación) de la hamburguesa de la res (género *Bos*), en comparación con la de búfalo (7.63 res vs 7.17 búfalo). Estas diferencias son atribuidas a una mayor cantidad de grasa en la carne de vacuno utilizada (res). Es por ello que la carne de búfalo es una alternativa más saludable para elaborar este producto. Para más información al respecto, consulte el capítulo relacionado con la calidad de la carne o consulte la sección de “Calidad del producto”.



Figura 4. Las modificaciones de color y pH de la carne dependen procesos tecnológicos tan importantes como el envasado al vacío de la carne, por lo cual los problemas derivados del estrés en la carne, más que afectar directamente al consumidor, es un factor que directamente compromete a industriales y procesadores.

INOCUIDAD DE LA CARNE DE BÚFALO DE AGUA

A lo largo de toda la cadena de producción se debe evitar la contaminación de microorganismos patógenos y alterantes que ingresen a los alimentos destinados al consumo humano. Los microorganismos (microbiota) presentes en las canales de búfalo depende de las condiciones en las cuales los animales hayan sido manejados en la unidad productiva, en el rastro o matadero y durante su procesamiento (Adhikari et al., 2012).

La inocuidad es una característica sanitaria inherente al alimento en la que tanto los productores como los consumidores son corresponsables de garantizar, por ello es importante que la carne de búfalo que se expende en los mercados sea además de nutritiva, inocua (Manning y Soon, 2016). De ahí que son necesarios los estudios en Latinoamérica, para determinar la microbiota bacteriana de los productos derivados de búfalo, tales como carne y leche, similares a los realizados en otros países (Cuadro 1).

Más aun, los búfalos pueden albergar en el intestino microorganismos patógenos para el humano, poco estudiados, con características clínicas similares a *Campylobacter jejuni*, como los de género *Arcobacter* (Mansfield y Forsythe, 2000; Vandernberg et al., 2004), que ya han sido encontrados en otras especies animales y en alimentos proveniente de la carne de cerdo, res, aves y productos marinos (Fernández et al., 2015).

Piva et al. (2013) reportaron, por primera vez, en 29 de 30 búfalos productores de leche (3 y 5 años), a *Arcobacter cryaerophilus* como la especie microbiana dominante en muestras de heces analizadas por PCR, seguida por *A. butzleri* y *A. skirrowii*. La prevalencia dentro del hato fue de 96.7%. Los hallazgos de estos autores permiten suponer que la contaminación con materia fecal hacia los alimentos crudos, tales como leche y carne, durante el ordeño (Ng et al., 2010) y la matanza (Yashoda et al., 2000), respectivamente, es consecuencia de la falta de buenas prácticas de higiene o insuficiente proceso térmico previo al consumo.

Cuadro 1. Microbiota presente en carne de búfalo de agua

Producto	Microorganismos indicadores (población)	Microorganismos patógenos	Sitio del muestreo	Referencia
Carne exterior de la canal (1 muestra por carnicería/3 repeticiones)	Bacterias aerobias: log 5.62 UFC/g Coliformes: log 3.69 UFC/g <i>E. coli</i> : log 3.69 UFC/g <i>Staphylococcus</i> sp.: log 5.43 UFC/g	<i>Salmonella</i> sp. negativa en todos los casos	Mercado tradicional en Indonesia (carne de mataderos)	Harsoo y Sari (2015)
Carne interior de la canal (1 muestra por carnicería/3 repeticiones)	Bacterias aerobias: log 6.61 UFC/g Coliformes log 4.83 UFC/g <i>E. coli</i> : log 4.77 UFC/g <i>Staphylococcus</i> sp.: log 5.39 UFC/g	<i>Salmonella</i> sp. negativa en todos los casos	Mercado tradicional en Indonesia (carne de mataderos)	Harsoo y Sari (2015)
Carne (n=10)	Coliformes log 4.31 UFC/g <i>E. coli</i> : log 3.22 UFC/g <i>Staphylococcus aureus</i> log 3.98 UFC/g	80% de las muestras fueron positivas a <i>Salmonella</i> sp. 100% de las muestras fueron positivas a <i>Shigella</i> sp.	31 tiendas al menudeo	Adhikari et al. (2012)
Superficie de cuartos traseros (n=35)	<i>Pseudomonas</i> sp log (2.1±1.8) UFC/cm ² (media±desviación estándar) Coliformes termotolerantes log (0.5±0.4) NMP/cm ² (media± desviación estándar)	Se aisló <i>Listeria grayi</i> solamente en 5.7% de las muestras	Se muestrearon superficies de 25 cm ² (125 cm ² de las canales) de tapa de lomo/ churrasco/ entrecot	Voloski et al. (2016)
Cortes empacados al vacío (procesados el mismo día)	<i>Pseudomonas</i> sp log 3±1.5 UFC/cm ² (media±desviación estándar) Coliformes termotolerantes log 0.9±0.7 NMP/cm ² (media ±desviación estándar)	<i>Listeria monocytogenes</i> escasa	Se muestrearon superficies de tapa de lomo/churrasco/ entrecot	Voloski et al. (2016)

CONSIDERACIONES FINALES

Para garantizar la seguridad alimentaria, la introducción del búfalo de agua es una alternativa productiva de doble (carne-leche) o triple propósito (trabajo) en las zonas rurales. El búfalo es una especie que está ganando terreno en la región latinoamericana; sin embargo, se deben llevar a cabo más estudios para contar con la información pertinente sobre los aspectos productivos en el medio rural.

La carne de búfalo es demandada en los mercados internacionales por ser una carne sana, de calidad, con terneza y sabor reconocido y apreciado; motivos suficientes para realizar la actividad y alcanzar estos mercados.

Hay varios retos en el sacrificio de los búfalos (localización anatómica identificable y adaptarlo al menor grosor de la pared ósea) que se deben tener en cuenta para mejorar su sacrificio, adaptados a cada animal y cumpliendo las normas de bienestar animal.

La producción de carne y leche de búfalo de agua constituye una actividad sustentable con valor agregado por la transformación en derivados que cumplan con los requisitos nutricionales y sanitarios y que, además, garanticen la inocuidad y la calidad comercial de los productos derivados.

REFERENCIAS

- Adhikari, B.M., Subedi, R.P., Subba, D., 2012. A study on standard of buffalo meat hygiene in Dharan. *J. Food. Sci. Technol. Nepal.* 7, 99-101.
- Alarcón, N.S., 2017. Búfalos: Una alternativa de producción para el Departamento Concordia. Tesis Licenciatura en Administración Rural. Universidad Tecnológica Nacional. <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/1559/B%C3%BAfalosUnaAlternativaDeProducci%C3%B3nParaElDepartamentoConcordia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alarcón-Rojo, A., Mota-Rojas, D., García-Galicia, I., Cruz-Monterrosa, R., Ramírez-Bribiesca, E., Olmos-Hernández, A., Guerrero-Legarreta, I., 2020. Dark cutting in river buffalo: Effect of management and environmental factors. *Agroproductividad* 13, 93-98. <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1927>
- Almaguer-Pérez, Y., 2007. El búfalo, una opción de la ganadería. *REDVET.* 8, 1-23.
- Anónimo. 2019. Cría Búfalos: Venezuela supera producción de leche de búfalo en Suramérica. Banca y Negocios (17/01/2019). <https://www.bancaynegocios.com/criabufalos-venezuela-supera-produccion-de-leche-de-bufalo-en-suramerica/> consultada (07/01/2019).
- Barbosa, J.D., Ávila, S.C.D., Dias, R.V., Pfeifer, I.B., Oliveira, C.M., 2003. Estudo comparativo de algumas provas funcionais do fluido

ruminal e de metabólitos sangüíneos de bovinos e bubalinos. *Pesq. Vet. Bras.* 23, 33-37.

Bartocci, S., Terramoccia, S., Puppo, S., 2005. New Acquisitions on the Digestive Physiology of the Mediterranean Buffalo. Buffalo production and research. *Reu Technical Series* 67. FAO Regional Office for Europe Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Morales-Canela, A., Orozco-Corrales, C., Mota-Rojas, D., 2019a. Capítulo 7. Los sistemas de producción de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). *El búfalo de agua en las Américas* (2da. Eds.). México. BM Editores.

Bertoni, A., Álvarez, A., Mota-Rojas, D., 2019b. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 19 (38), 59-80.

Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J., Legarreta, I.G., 2020a. Similarities and differences between river buffaloes and cattle : health , physiological , behavioral and productivity aspects. *J. Buffalo Sci.* 9, 92-109. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.12>

Bertoni, A., Mota-Rojas, D.; Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I. et al. 2020b. Scientific findings related to

changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. J. Anim. Behav. Biometeorol. 8:288-297. doi.org/10.31893/jabb.20038

Bavera, G. A., 2011. Razas bovinas y bufalinas de la Argentina (1a ed.).

Río Cuarto: Imberti-Bavera. [http://www.produccion-animal.com.ar/libros_on_line/61-](http://www.produccion-animal.com.ar/libros_on_line/61-Razas_bovinas_y_bufalinas.pdf)

[Razas_bovinas_y_bufalinas.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/libros_on_line/61-Razas_bovinas_y_bufalinas.pdf)

Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Morales, A., Orozco, C., Mota-Rojas, D., 2019a. Capítulo 7. Los sistemas de producción de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.

Bertoni, A., Álvarez, A., Mota-Rojas, D., 2019b. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. Soc. Rur. Prod. Med. Amb. 19 (38), 59-80.

Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J., Legarreta, I.G.-, 2020a. similarities and differences between river buffaloes and cattle : health , physiological , behavioral and productivity aspects. J. Buffalo Sci. 9, 92-109. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.12>

Bertoni, A., Mota-Rojas, D.; Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I. et al. 2020b. Scientific findings related to

changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. J. Anim. Behav. Biometeorol. 8:288-297. doi.org/10.31893/jabb.20038

Berry, R.A., 2004. Respuestas de política a los problemas de pobreza y desigualdad en el mundo en desarrollo. En: El desarrollo económico en los albores del siglo XXI-Bogotá: CEPAL/Alfaomega 317-340.

Brito, S., 2009. Balance de trabajo del programa de Desarrollo Bufalino. En: Balance de trabajo 2008. Programa de Desarrollo Bufalino, Equino y Ganado Menor. Ministerio de la Agricultura. 2009. La Habana, Cuba.

Carrazoni, J.A., 1998. El búfalo en el mundo y en nuestro país. Suplemento Rev. Vet. 79, 2-7.

Crudeli, G.A., Patiño, E.M., Maldonado Vargas, P., Konrad, J.L., 2014. Pasado, presente y futuro del búfalo en Argentina. Rev. Vet. 25, 2, 140-145.

Cruz-Monterrosa, R.G., Mota-Rojas, D., Ramírez-Bribiesca, E., Mora-Medina P., Guerrero-Legarreta I., 2020. Scientific findings on the quality of river buffalo meat and it's prospects for future studies. J. Buffalo Sci. 9, 170-180. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.18>

Dalsecco, L.S., Palhares, R.M., Oliveira, P.C., Teixeira, L.V., Drummond, M.G., de Oliveira, D.A.A., 2018. A fast and reliable real-time PCR method for detection of ten animal species in meat products. J. Food. Sci. 83, 258-265.

- De Franciscis, G. and J. B. Moran. 1992. Meat production from river buffaloes. En: N.M. Tulloh and J.H.G. Holmes (Eds.). Buffalo Production (World Animal Science, C6.). Elsevier. Amsterdam. 413-419.
- De Rosa, G., Grasso, F., Pacelli, C., Napolitano, F., Winckle, C., 2009. The welfare of dairy buffalo. Ital. J. Anim. Sci. 8, 103-116.
- Desta, T.T., 2012. Introduction of domestic buffalo (*Bubalus bubalis*) into Ethiopia would be feasible. Renew. Agr. Food. Syst. 27, 305-313.
- FAO., 2013. Declaración de Roma Sobre la Seguridad Alimentaria Mundial. 1996. Roma, Italia.
- FAO., 2013. Mapa del hambre 2013. Búsqueda en internet del 14/09/2018.
<https://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/communications/wfp252406.pdf>
- FAO., OPS, WFP y UNICEF., 2018. Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe. Santiago. 2018, 133.
- Giordano, G., Guarini, P., Ferrari, P., Biondi-Zoccai, G., Schiavone, B., Giordano, A., 2010. Beneficial impact on cardiovascular risk profile of water buffalo meat consumption. Eur. J. Clin. Nutr. 64, 1000-6.
- Gómez, D.A.A., Muñoz, M.F.C., Lugo, A.H., 2007. El búfalo como animal productor de carne: producción y mejoramiento genético. Rev. Lasallista Invest. 4, 43-49.
- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa,

R.G., Mora-Medina, P., & Berdugo-Gutiérrez J., 2019a. The River Buffalo: versatile, rustic and sustainable as a meat producer. *Agro. Meat.*, 1–10.

Guerrero-Legarreta, I., García-Galicia, I., Ramírez-Bribiesca, R., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R., Olmos-Hernández, A., & Alarcón-Rojo, A. D., 2019b. Capítulo 21. Factores que afectan la calidad de la carne del búfalo de agua y bovino del género *Bos*. In: Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., & Orihuela, A. (Ed.), *El búfalo de agua en las Américas*. México. BM Editores.

Guerrero-Legarreta, I., Rosmini, R., Mota-Rojas, D., Fernández-López, J., Cruz-Monterrosa, R., Pérez-Álvarez, J.A., 2019c. Capítulo 22. Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua. En: Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., & Orihuela, A. (Ed.), *El búfalo de agua en las Américas*. México. BM Editores.

Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Cruz-Monterrosa, R., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Ramírez-Bribiesca, E., Bertoni, A., Berdugo-Gutiérrez, J., & Braghieri, A., 2020a. River buffalo meat production and quality: sustainability, productivity, nutritional and sensory properties. *J. Buffalo Sci.* 9, 159-169. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.17>

Guerrero-Legarreta, I., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., 2020b. Capítulo 6. El búfalo de agua

productor de carne por el mundo: indicadores productivos y sanitarios. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (192-224), Segunda edición. México, BM Editores.

Harsojo, H., Sari, S.Y., 2015. Bacterial Diversity in Buffalo Meat and Bowel from Traditional Market and the Sensitivity of Some Bacteria to Irradiation and Antibiotics. Atom. Indonesia 41, 79-85.

Manning, L., Soon, J.M., 2016. Food safety, food fraud, and food defense: a fast evolving literature. J. Food. Sci. 81, R823-R834.

Mansfield, L.P., Forsythe, S.J., 2000. *Arcobacter butzleri*, *A. skirrowii* and *A. cryaerophilus*—potential emerging human pathogens. Rev. Med. Microbiol. 11, 161-170.

Meichtry, C., Glauser, U., Glardon, M., Ross, S.G., 2018. Assessment of a specifically developed bullet casing gun for the stunning of water buffaloes. Meat. Sci. 135, 74-8.

Merle, S., Sencleer, J., Rodas-Gonzalez, A., Gonzalez, J., Mansutti, D., Huerta-Leidenz, N. 2004. Comparación de machos enteros búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) vs vacunos acebuados en características al sacrificio, de la canal, rendimiento carnicero y palatabilidad del longissimus. Arch Lat. Prod. Anim. 12, 112-120

Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J., Mota-Rojas, D., Ruiz-Buitrago, J., Nava, A.J., Guerrero-Legarreta, I., 2018. Behaviour and

- welfare of dairy buffaloes: pasture or confinement?. J. Buffalo Sci. 7, 43–8. doi.org/10.6000/1927-520X.2018.07.03.2
- Mora-Medina, P., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Flores, K., Reyes, B., Torres, F., Bertoni, A., Cruz-Monterrosa, R., Ramírez-Necoechea, R., Guerrero-Legarreta, I., 2019. Capítulo 18. La huella ambiental de la producción pecuaria. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 582-628), Segunda edición. México, BM Editores.
- Moran, J.B. 1992. Growth and development of buffaloes. En: N.M. Tulloh and J.H.G. Holmes (Eds.). Buffalo Production (World Animal Science, C6.). Elsevier. Amsterdam. 191-221.
- Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I., Pérez-Álvarez J.A., Rosmini, M., Napolitano, F., Ghezzi, M., Fernández-López, J. Braghieri, A., Viuda, M., Bragaglio, A., & Mora-Medina, P., 2019a. Capítulo 1. La carne de búfalo de agua en las Américas: retos y oportunidades. En: Guerrero-Legarreta I, Napolitano F, Mota-Rojas D. & Orihuela A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., & Guerrero-Legarreta, I. Napolitano F., 2019b. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 14(035).
<https://doi.org/10.1079/PAVSNR201914035>

- Mota-Rojas, D., Álvarez, A., Bertoni, A. Molina S., José, N., López, G., Mora, P., Guerrero, I., & Napolitano, F., 2019c. Capítulo 8. La importancia de los animales en labores rurales: tracción, transporte y carga. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Napolitano, F., Serrapica, F., De Rosa G. et al. 2019d. Capítulo 9. La búfala de agua durante el parto y ordeño: respuestas fisiológicas y conductuales. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 154-191), Segunda edición. México, BM Editores.
- Mota-Rojas, D. Napolitano, F., Sarubbi, J., Braghieri, A., Martínez-Burnes, J., Bertoni, A., Ghezzi, D. et al. 2019e. Capítulo 16. Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja” en Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 512-538), Segunda edición. México, BM Editores.
- Mota-Rojas, D., Ghezzi, M.D.; Sarubbi, J., Napolitano, F., José-Pérez, N., Braghieri, A., Martínez, G.M.; Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I., Barrios, H., Martínez-Burnes, J. 2019f. Capítulo 17. Importancia de la sombra natural o artificial y su efecto en los indicadores fisiológicos y de comportamiento en el búfalo de agua, bovino europeo y bovino índico. En Guerrero-Legarreta,

- I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 539-581), Segunda edición. México, BM Editores.
- Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A., Martínez-Burnes, J., Álvarez-Macías, A., Orihuela, A., 2020a. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 9,2103. <https://doi.org/10.31893/jabb.21003>
- Mota-Rojas, D., Ghezzi, D., Napolitano, F., Rosmini, M., Guerrero-Legarreta, I., Martínez-Burnes, J., Lezama-García, K., Miranda-Cortés, A., Thielo de la Vega, L., Mora-Medina, P., Hernández-Ávalos, I., 2020b. Quality of death in the river buffalo (*Bubalus bubalis*). *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 9:2115.
- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Braghieri, A., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Cruz-Monterrosa, R., De Rosa, G., 2020. Factores Productivos y su incidencia en el bienestar de la búfala lechera en sistemas de producción extensivos e intensivos. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 20, (40), 155-173.
- Ng, L., Jost, C., Robyn, M., Dhakal, I. P., Bett, B., Dhakal, P., & Khadka, R. 2010. Impact of livestock hygiene education programs on mastitis in smallholder water buffalo (*Bubalus bubalis*) in Chitwan, Nepal., *Prev. Vet. Med.* 96(3-4), 179–185.
- ONU., 2019a. Últimas noticias e informaciones de la ONU sobre la enfermedad del coronavirus (COVID-19), Objetivo 1: Poner fin

- a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/poverty/>
- ONU., 2019b. El número de pobres en la América Latina puede crecer en 35 millones.
<https://news.un.org/es/story/2019/03/1471522>
- Otte, J., Upton, M., 2005. Poverty and livestock agriculture. WAAP Book of the Year, 2005. 281-96.
- Peixoto Joele, M.R.S., Lourenço Júnior, J.B., Lourenço, L.F.H., Amaral Ribeiro, S.C., Meller, L.H., 2014. Buffalo meat from animals fed with agro industrial in Eastern Amazon. Arch. Zootecnia. 63, 359-69.
- Puppo, S., Bartocci, S., Terramoccia, S., Grandoni, F., Amici, A., 2002. Rumen microbial counts and in vivo digestibility in buffaloes and cattle given different diets. Anim Sci. 75, 323-9.
- Romero-Salas, D., Pérez-De León, A.A., 2014. Bubalinocultura en Mexico: retos de industria pecuaria naciente. Logros y Desafíos de la Ganadería Doble Propósito, 6ta ed. Maracaibo, VN: Fundación GIRARZ 2014, 707-15.
- Sauvant, D., Martin, O., 2010. Robustness, rusticity, flexibility, placticity. The quality new criteria of farm animals: systemic and biological definitions of the various concepts. INRA Prod. Anim. 23, 5-9.
- Schwenk, B.K., Lechner, I., Ross, S.G. et al., 2016. Magnetic resonance imaging and computer tomography of brain lesions in water

- buffaloes and cattle stunned with handguns or captive bolts. Meat. Sci.; 113, 35-40.
- Silva, F.L., Silva, T.D.S, Vargas, F.C., Franzolin, R., Trindade, M.A., 2014. Scientific Note: Physicochemical parameters and sensory acceptance of buffalo burgers as compared to beef burgers. Braz. J. Food. Technol. 17, 340-44.
- Tamburrano, A., Tavazzi, B., Callà A., et al. 2019. Biochemical and nutritional characteristics of buffalo meat and potential implications on human health for a personalized nutrition. Ital. J. Food. Safety. 8, 174-79
- Vandenberg, O., Dediste, A., Houf, K., et al. 2004. Arcobacter species in humans. Emerg. Infect. Dis. 10, 1863.
- Verdurico, L.C., Gandra, J.R., de Freitas Júnior, J.E. et al., 2012. Evaluation of the milk fatty acid profile from Mediterranean buffalo cows in the first eight weeks of lactation. J. Buffalo. Sci. 1, 177-82.
- Voloski, F.L.S., Tonello, L., Ramires, T., et al., 2016. Influence of cutting and deboning operations on the microbiological quality and shelf life of buffalo meat. Meat. Sci. 116, 207-212.
- Wankar, A.K., Singh, G., Yadav, B., 2014. Thermoregulatory and adaptive responses of adult buffaloes (*Bubalus bubalis*) during hyperthermia: Physiological, behavioral, and metabolic approach. Vet. World. 7, 825-30.

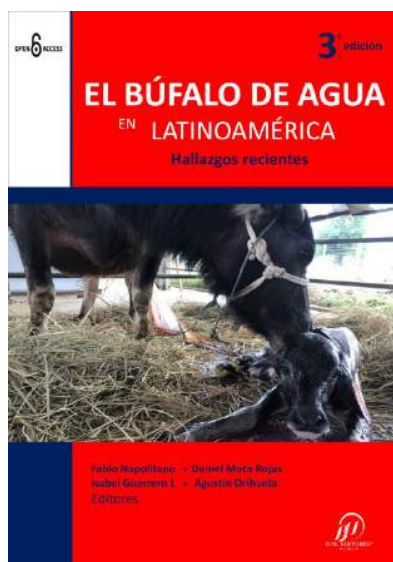
- Yashoda, K.P., Sachindra, N.M., Sakhare, P.Z., Rao, D.N. 2000. Microbiological quality of hygienically processed buffalo carcasses. Food. Control. 11, 217-24.
- Young, R., Lefevre, L., Bush, S.J. et al., 2019. A gene expression atlas of the domestic water buffalo (*Bubalus bubalis*). Front. Genetics. 10, 668.
- Zava, M.A., 1992. Producción de Búfalos. Orientación Gráfica Editora. Bs. As. 175 p.



CAPÍTULO 5

PRODUCTIVIDAD DE LOS BÚFALOS DE AGUA Y SUS EXPECTATIVAS DE DESARROLLO EN ZONAS TROPICALES

Aldo Bertoni, Adolfo Álvarez-Macías, José Luis Dávalos-Flores y Daniel Mota-Rojas



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 5

Productividad de los búfalos de agua y sus expectativas de desarrollo en zonas tropicales

Aldo Bertoni¹, Adolfo Álvarez-Macías¹, José Luis Dávalos-Flores² y Daniel Mota-Rojas¹

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México.

²Departamento de Economía, Administración y Desarrollo Rural. FMVZ. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México.

INTRODUCCIÓN

Con los búfalos se abre una oportunidad de aprovechar una especie no tradicional, al menos en América Latina, y con amplio potencial para su desarrollo en áreas tropicales, especialmente en las más húmedas. En efecto, se trata de una especie rústica, con capacidad de adaptación a hábitats complejos y reportando índices productivos destacados. El inventario mundial de los búfalos alcanzó 199 millones 280 mil cabezas en 2016 (Napolitano et al., 2018), con un crecimiento de casi 20% respecto a 2005, tomando como referencia los datos de la FAO, 2005 (citado por Borghese y Mazzi, 2005).

Los búfalos se adaptan con cierta facilidad a las condiciones típicas de la región tropical húmeda, donde predominan suelos con drenaje deficiente (Gutiérrez et al., 2006; Mendes y De Lima, 2011), así como

una oferta de pastos naturales e inducidos, que suelen registrar media y baja calidad, los cuales son aprovechados de manera eficaz por esta especie (García et al., 2011; Romero y Pérez, 2014; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; Napolitano et al., 2020).

De los búfalos se suele obtener de manera simultánea leche y carne (Guerrero-Legarreta et al., 2019; Cruz-Monterrosa et al., 2020; Guerrero-Legarreta et al., 2020); no obstante, en algunos casos, son usados con un tercer propósito, como animales de trabajo (Mota-Rojas et al., 2019c). Es una especie conocida particularmente por su producción de leche, ya que los búfalos aportan 13% de la producción mundial de este producto (Napolitano et al., 2018).

Aunque resta mucho por documentar respecto a los búfalos, sus bondades son reconocidas y ello no ha favorecido su expansión en el continente americano, en donde han tenido una introducción pausada ya los productores no han respondido de manera entusiasta (Mitat, 2011). En ese sentido, resulta trascendente examinar las ventajas de esta especie animal para que los productores y las instancias gubernamentales puedan favorecer su expansión, como una alternativa de desarrollo que puede representar una fuente de ingresos para los ganaderos y una opción para contribuir al desarrollo de la región tropical (López, 2013). Del mismo modo, los búfalos son una opción para desplegar sistemas sostenibles con productos con alto valor nutritivo e inocuos, con la posibilidad de obtener productos orgánicos (Barboza, 2011).

En ese contexto, el presente capítulo contiene una revisión bibliográfica, principalmente de documentos basados en evidencia científica, sobre las características anatómicas, fisiológicas y de comportamiento, así como del desempeño productivo y reproductivo del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*)¹. El objetivo central consistió en examinar y ponderar las posibilidades de desarrollo de esta especie en las regiones tropicales de Latinoamérica.

1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS BÚFALOS

De la existencia del búfalo como animal doméstico se tienen registros desde hace 4,500 años en Asia, en el territorio que actualmente ocupan India y Pakistán. De Asia fue introducido a África; posteriormente a Europa y a Oceanía y, por último, al continente americano (López, 2013; Crudeli et al., 2014).

El búfalo de agua asiático doméstico (*Bubalus bubalis*) se clasifica generalmente en dos sub-especies, basadas en el tamaño del cuerpo, la apariencia externa, las características biológicas, su distribución geográfica y su cariotipo: el búfalo de río ($2n = 50$) que se encuentran en India y al oeste de Italia y, por otra parte, el búfalo de pantano ($2n=48$), de menor tamaño, ubicado en el sudeste de Asia hasta el este de China (Mattapallil y Ali, 1999; Quintanilla, 2014).

Los búfalos de agua pertenecen a la familia *Bovidae* (Cuadro 1), con similitudes con los vacunos domésticos convencionales del género *Bos*, pero se sitúan en una posición filogenética distinta y muestran

¹ El capítulo hace referencia al búfalo de agua que con fines prácticos se refiere simplemente como búfalo.

diferencias anatómicas, fisiológicas y de comportamiento, dado que presentan cariotipos distintos y, por ende, son incompatibles para cruzamientos, dado que el búfalo de agua pertenece al género *Bubalus* (Mattapallil y Ali, 1999 y Quintanilla, 2014).

Cuadro 1. Taxonomía de la familia *Bovidae*

Subfamilia	Características	Género	Especie	Subespecies	Nombre común de los animales
Bovinae	Grandes Rumiantes de 60 cromosomas y genero Bibos con 58 cromosomas	Bos	<i>Bos taurus</i>		Vacunos (2n = 60)
			<i>Bos indicus</i>		
		Bibos			Gaur, Gayal, Banteg
		Poephagus			Yak del Himalaya
		Bison	<i>Bison</i>		Bisón americano
Bubalinae	Todos los bubalinos de 48 a 54 cromosomas	Syncerus	<i>Syncerus caffer</i>		Búfalo Cape africano (2n = 52)
			<i>Syncerus nanus</i>		Búfalo Rojo del Congo (2n = 54)
		<i>Bubalus</i>	<i>B. bubalis</i>	<i>B. b. fluviatilis</i>	Búfalos de río (2n = 50)
			<i>B. bubalis</i>	<i>B. b. limenticus</i>	Búfalos de pantano (2n = 48)
		Anoa	<i>Anoa quarlesi</i>		
			<i>Anoa despressicornis</i>		Búfalos pequeños de las islas Sulawesi

Fuente: Patiño et al. (2016).

Son cuatro las razas de búfalos más comunes: tres de origen asiático, la Carabao, la Jafarabadi y la Murrah; y una de origen italiano, la Mediterránea. La Carabao se utiliza principalmente para trabajo; la Jafarabadi presenta aceptable productividad de carne; y para leche, destacan la Murrah y la Mediterránea. El Bufalipso es una raza producto del mestizaje entre las diferentes razas antes referidas (Patiño et al., 2016).

A principios del presente siglo, la mayor población de búfalos se ubicó en el continente asiático, concentrando el 95.4% de la población mundial, principalmente en India, China y Pakistán. Le siguió el continente africano con 2.1%, sobresaliendo Egipto. En América y Europa se concentró una parte marginal, de 0.71 y 0.17%, de forma respectiva (Borghese y Mazzi, 2005).

2. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS REGIONES TROPICALES PARA EL DESARROLLO DE LOS BÚFALOS

Los búfalos están dotados para desarrollarse en condiciones de elevada temperatura y humedad relativa, así como con amplias horas luz por día, que son condiciones propias del trópico húmedo. A estas peculiaridades de los búfalos se suman otras relevantes, como su elevada capacidad para consumir forrajes nativos e inducidos de baja y media calidad, así como su resistencia a enfermedades infecciosas y parasitarias, tanto internas como externas, que son comunes en las zonas tropicales (Cervantes, 2010; Mitat, 2011; Barboza, 2011).

En el continente americano la mayoría de los países que disponen de zonas tropicales han establecido producciones de búfalos (Mitat, 2011; Crudeli et al., 2014), gracias a sucesivas importaciones y al aprendizaje progresivo de los métodos de crianza, basados en la fisiología y el comportamiento de la especie en cuestión (Mitat, 2011; Cervantes, 2010). En estas regiones se suele contar con recursos financieros limitados, pero la riqueza en sus ecosistemas (González et al., 2018) ha sido el detonante para el establecimiento de sistemas de producción de búfalos de agua.

Aunque en términos productivos existen en el clima tropical húmedo dos épocas bien marcadas, una húmeda y otra seca, se presentan temperaturas que suelen variar entre 23 y 26°C como media anual, con escasa oscilación térmica durante el año. La precipitación pluvial también es elevada y suele rebasar los 2,000 mm, con posibilidades de llegar a 4,000 mm al año, lo que generalmente ha permitido el predominio de vegetación abundante como selvas altas perennifolias (U.S. Forest Service, 1994), las cuales se han degradado drásticamente y han derivado en amplias zonas de pastizales y otras vegetaciones secundarias.

Bajo esas condiciones difíciles ha sido posible el desarrollo de pastos adaptados a zonas inundables, como, por ejemplo: Alemán (*Echinochloa polystachya*), Pará (*Brachiaria mutica*), Chetumal (*Brachiaria humidicola*), Bermuda (*Cynodon dactylon*), y Buffel

(*Cenchrus ciliaris*), entre muchos otros. En la mayoría de las zonas tropicales, las tasas de crecimiento de las diferentes especies forrajeras están asociadas con la distribución estacional de la precipitación y la temperatura en el año. La producción de forraje normalmente supera los requerimientos del ganado durante la época de lluvias, cuando alcanzan las tasas de crecimiento más altas. Lo contrario pasa en la época de secas, en las que el ganado, incluidos los búfalos, puede sufrir por falta de forraje (Enríquez et al., 2015; Peters et al., 2010), especialmente si no se tienen esquemas de suplementación apropiados.

En efecto, los pastos tropicales son abundantes, pero de limitada capacidad nutricional, con cierta estacionalidad conforme al régimen de precipitación, a los cuales los búfalos de agua se adaptan y suelen responder de manera positiva. Esta particularidad se puede potenciar mediante el diseño de sistemas de pastoreo semi-intensivos y agrosilvopastoriles, que pueden optimizar el aprovechamiento de los recursos forrajeros (García y Planas, 2005).

3. CARACTERÍSTICAS MORFO-FISIOLÓGICAS Y HÁBITOS DE DESARROLLO

Para profundizar en los atributos fisiológicos de los búfalos de agua, que los distinguen del ganado doméstico del género *Bos*, y que les ha permitido su evolución bajo condiciones ambientales difíciles, en este

apartado se describen las características que han sido investigadas por diferentes autores.

3.1. Comportamiento

Resulta común que los búfalos presenten un comportamiento gregario más acentuado que los vacunos, de ahí que generalmente se encuentren agrupados. Esta conducta facilita la estancia y la conducción de los rebaños en las áreas designadas (García y Planas, 2005). El hábito de consumo del búfalo es nocturno (Romero y Pérez, 2014) o en el horario diurno, cuando las temperaturas son más frescas, al principio y al final del día (Salazar, 2000), en pasturas naturales e inducidas, sin ser tan selectivo como el bovino (García y Planas, 2005). Los animales manifiestan un fuerte instinto de supervivencia; por lo que, en caso de quedar sin alimentos suficientes, pueden llegar a romper cercos y otro tipo de barreras, en busca de los mismos (Simón y Galloso, 2011).

3.2. Mecanismos de termorregulación

El color negro de la piel de los búfalos representa una defensa contra la acción de los rayos ultravioleta; pero, a su vez, los hace más sensibles a la radiación solar directa (Barboza, 2011). Se suma a esta característica la cantidad de folículos pilosos en los búfalos, entre 135 y 145 folículos por cm^2 , para los búfalos, versus 3,000 folículos por cm^2 , en promedio, para los cebús; la cual tiene un doble efecto: por un lado, facilita la disipación del calor, y por otro, expone la piel a la

acción directa de la radiación solar (Zicarelli, 2016). Además, los búfalos poseen una menor densidad de glándulas sudoríparas, pero éstas comúnmente son más grandes y de mayor capacidad de termoregulación (Zicarelli, 2016). Es por eso que el búfalo requiere de sombra y zonas inundables y pantanosas como mecanismos de regulación térmica.

En este último sentido, se ha revelado importante la inclusión de charcas o fosas en las unidades productivas, ya que favorece la interacción de las hembras gestantes en condiciones de altas temperaturas y humedad, gracias a que se mitiga el estrés calórico (Di Palo et al., 2009).

3.3. Resistencia a enfermedades

Usualmente, la prevalencia de enfermedades en las unidades de producción pecuarias implica pérdidas económicas. En los sistemas de producción de vacunos ubicados en trópico existe una alta incidencia de enfermedades podales, mastitis e infestaciones por ectoparásitos; sin embargo, el búfalo ha mostrado una alta resistencia a este tipo de afecciones. Sus hábitos y morfo-fisiología coadyuvan a que presenten baja susceptibilidad a enfermedades y porcentajes de mortalidad poco significativos (Almaguer, 2007). Los mismos hábitos de termorregulación del búfalo suelen interrumpir el ciclo de los ectoparásitos (Belmiro, 2006).

De acuerdo con Torres (2009), el búfalo registra poco desarrollo de mastitis, debido a que sus características anatómicas y fisiológicas

generan barreras de penetración de microorganismos a la cisterna de la glándula mamaria, como la oclusión del orificio del pezón y el mayor nivel de queratina (con acción bactericida y bacteriostática) en el canal del pezón. Así mismo, en ambientes naturales de gran humedad, no presentan susceptibilidad a infecciones por bacterias y hongos en las pezuñas (Barboza, 2011). En la Figura 1 se sintetizan las principales características del búfalo relacionadas con su proceso de adaptación al medio tropical.

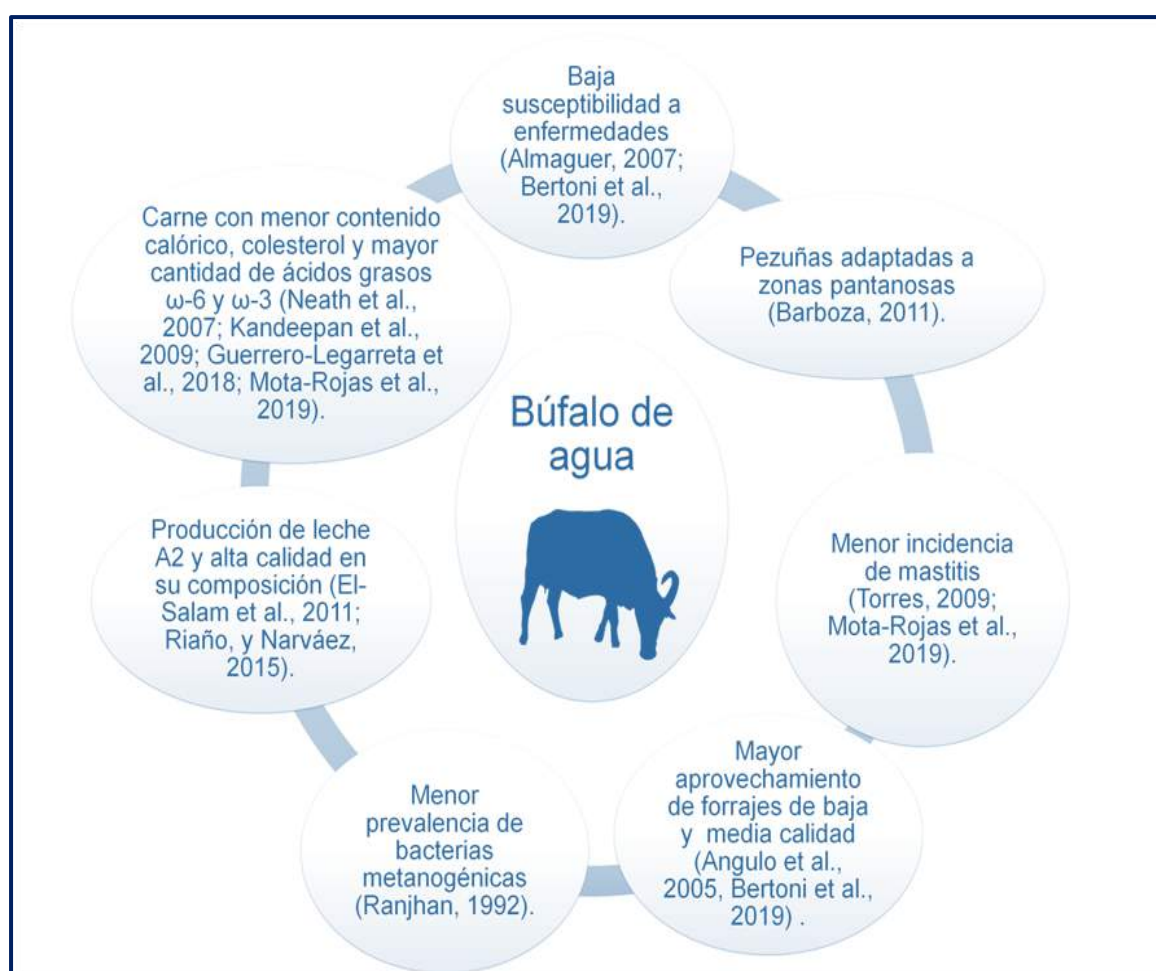


Figura 1. Características sobresalientes del búfalo de agua en comparación con el vacuno del género *Bos*. Fuente: Bertoni et al. (2019a,b; 2020a,b).

3.4. La eficiencia del sistema digestivo

El estómago del búfalo es similar al del vacuno, compuesto por cuatro compartimientos; no obstante, las diferencias propician que el búfalo aproveche más eficientemente los nutrientes de los alimentos. Estudios realizados por Leao et al. (1985), que comparan el tracto digestivo de los búfalos con el de los vacunos, muestran que los primeros tienen mayor capacidad de almacenamiento de alimento, ya que el complejo rumen-retículo es significativamente mayor que el de los vacunos. Otro estudio en animales adultos ha demostrado que la tasa media de retención del alimento en el bovino es más lenta que la del búfalo; sin embargo, el búfalo retiene el alimento más tiempo en el complejo retículo-rumen (Bartocci et al., 1997).

Varios autores atribuyen esta condición a una masticación más eficiente y a una mayor degradación de la fracción fibrosa en el rumen, de parte del búfalo (Puppo y Grandoni 1993; Jalaludin et al., 1992; Singh et al., 1992). De igual manera, Sideney y Lyford (1993) reportan en su estudio que los búfalos poseen papilas ruminales más desarrolladas; con lo que, según Angulo et al. (2005) estos animales incrementan la absorción de productos de la fermentación.

El rumen del búfalo contiene una de las más densas y variadas poblaciones de microorganismos, la cual mantiene una relación simbiótica con el alimento consumido (Angulo et al., 2005). La mayoría de los estudios revela que en comparación con el vacuno presenta una

mayor población de bacterias celulíticas, proteolíticas, amilolíticas y lipolíticas y de hongos, sobre condiciones idénticas de dieta (Pant y Roy, 1970; Homma, 1986; Singh et al., 1992; Paul y Lal, 2010), por lo cual se favorece una degradación más eficiente de la pared celular de los forrajes y de la proteína proveniente de la dieta y, con ello, una mayor tasa de transformación de forrajes de baja calidad en ácidos grasos volátiles (AGV) y amonio (Franzolin, 1999; Ranjhan, 1992; Fundora, 2015). Otra característica que cabe destacar, es la prevalencia de bacterias productoras de gas, la cual es menor en el búfalo (10%) que en el bovino (20%). Se estima que los búfalos producen un menor volumen de metano (Mendes y Lima, 2011), lo que puede ser valorado en el control de gases invernadero.

Para la síntesis de proteína microbiana se necesitan fuentes de nitrógeno, como péptidos, aminoácidos y amonio, los cuales son derivados de la degradación de las proteínas. Diferentes investigaciones indican que los búfalos tienen mayor capacidad que los vacunos para aprovechar tanto la proteína de la dieta, como el nitrógeno amoniacal (Ranjhan, 1992; Souza, 2000; Fundora, 2015).

4. PRINCIPALES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LOS BÚFALOS

La bubalinocultura se ha organizado principalmente bajo dos regímenes de producción: el semi-intensivo y el extensivo, cada uno con sus características específicas para lograr una mejor relación costo-beneficio. En el primero el objetivo suele ser la producción de leche y carne (mediante machos sin valor genético). Las instalaciones de este sistema se caracterizan por disponer de un área para el ordeño y otra para mantener a los becerros durante su periodo de amamantamiento (Almaguer, 2007).

En el mismo sistema semi-intensivo el área de pastoreo comúnmente está dividida para facilitar el manejo de los animales y mejorar el aprovechamiento de los pastos. El uso de las cercas eléctricas suele optimizar este tipo de manejo, a las cuales el búfalo ha mostrado plena adaptación (Almaguer, 2007).

En lo que respecta a los sistemas extensivos, se utilizan áreas de libre pastoreo con grupos de animales que mantienen, o debieran mantener, una proporción promedio de 25 búfalas por semental; o bien, se tiene a los animales en corrales múltiples, que no deben exceder las 100 hembras por tres a cuatro sementales (García y Planas, 2005). A todo ello, son imprescindibles los corrales de trabajo, donde los animales se adapten al manejo y sea posible realizar procesos básicos, como: identificación, conteo, trabajos de selección y atención a la salud, entre otros (Almaguer, 2007).

Otra vertiente explorada ha sido la de los sistemas agrosilvopastoriles, en los que el componente arbóreo -que sirve como sombra y barrera contra vientos- incide positivamente en la termorregulación de los búfalos (Cubbage et al., 2012). Este tipo de sistema, al combinar, diferentes estratos vegetales (incluidos los arbustivos y herbáceos), es muy apropiado en los ambientes tropicales, ya que la sombra aminora la pérdida de energía por termólisis, y se favorece la conservación del ecosistema (García et al., 2011).

5. LOS CICLOS PRODUCTIVOS Y REPRODUCTIVOS DEL BÚFALO

Los búfalos se adaptan a ambientes con limitada oscilación de calor y humedad; sin embargo, cuando son criados en zonas distantes a la línea del ecuador, -bajo mayor variación térmica y del fotoperiodo, a lo largo del año-, presentan un comportamiento reproductivo consecuentemente variado; de hecho, esta especie se ha caracterizado como poliéstrica estacional, de días cortos, con mayores manifestaciones de estro durante el otoño (Sampedro y Crudeli, 2016), lo que coincide con épocas con disponibilidad de forraje en áreas tropicales (De Rosa et al., 2009).

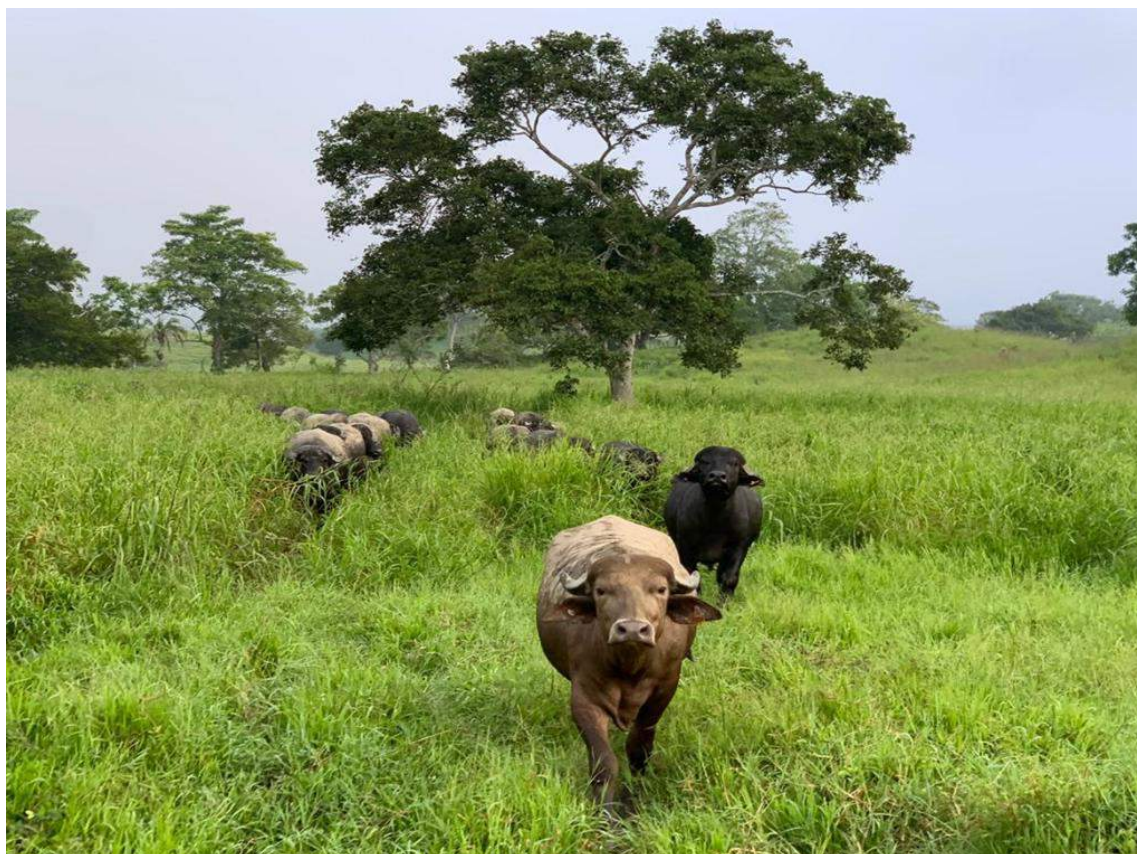


Figura 2. Crecimiento forrajero en sistemas de producción de búfalos de agua en el trópico húmedo mexicano

La estación óptima de servicio abarca de diciembre a febrero con pariciones de octubre a diciembre y con destete entre agosto y septiembre, dentro del hemisferio norte. Los momentos de requerimiento máximos de las búfalas (inicio de lactancia y servicio) se acoplan a la curva normal de crecimiento del pastizal. El momento de mayor desbalance ocurre durante la parte media de la gestación y la lactancia (Sampedro y Crudeli, 2016). Cabe agregar que los signos de celo en la búfala son más discretos que en la vaca, lo cual implica un reto para los productores (Konrad, 2016).

Según Gómez et al. (2007) las crías presentan un peso promedio al nacer de 32 kg a 35 kg, sin distinción entre sexos. Por otra parte, Martínez et al. (2009) reportan, para los machos, pesos promedio de 36.86 ± 3.1 kg.

Tras el parto, usualmente a la cría se le desinfecta el ombligo para evitar patologías como onfalitis y onfaloflebitis; posteriormente, debe permanecer al menos 10 días en amamantamiento para asegurar la ingestión de la mayor cantidad de calostro posible. Ante el rechazo de las crías por las madres, se utilizan nodrizas, ya que las búfalas son capaces de aceptar hasta cuatro crías a la vez; por consiguiente, no es común la crianza artificial (García y Planas, 2005).

El destete se efectúa de los 6 a 8 meses según diferentes autores (Martínez et al., 2009; Vázquez et al., 2018). Los pesos promedios al destete son de 220 a 240 kg, de acuerdo a Vázquez et al. (2018); el valor más alto fue reportado por Bavera (2005) con 260 kg, mientras que Martínez et al. (2009) observaron los más bajos, de 130 a 154 kg. En el indicador anterior se detectaron diferencias notables, lo cual se relaciona con la disponibilidad de alimento en las diferentes zonas de estudio (Martínez et al., 2009) y con la calidad composicional de la leche de búfala y su efecto en los pesos al destete de las crías (Gómez et al., 2007).

5.1. Ciclos de producción de carne y leche

En animales seleccionados para producción de carne se alcanzan ganancias de peso sobresalientes; por ejemplo, Fundora (2015), al comparar el comportamiento productivo de búfalos Bufalipso y Cebú comercial bajo las mismas condiciones en pastoreo, con una duración del experimento de 287 días, reportó ganancias de peso 1.6 veces mayores en el búfalo que en el cebú.

En 2004 se realizó otro estudio, donde el búfalo alimentado con forraje de mala calidad y con un peso inicial de 130.5 kg, presentó una ganancia de peso diario mayor a 0.7 kg, alcanzando el peso vivo de sacrificio a los 23.1 meses con un peso final de 475 kg (Fundora et al., 2004), en tanto Bavera (2005) obtuvo valores de hasta 550 kg de peso a los 24 meses de edad. En contraparte, el rendimiento en canal reportado fue de 54% para el búfalo, debido a que el cuero, la cabeza y las vísceras resultan comparativamente más pesadas (Torres, 2009).

En cuanto a las hembras destinadas a la producción de leche, éstas muestran valores de llegada a la pubertad altamente variables, en un rango de 18 a 46 meses (Jainudeen y Hafez, 2000). En condiciones favorables, el búfalo de río puede alcanzar la pubertad entre los 15 y 18 meses, y los búfalos de pantano, entre los 21 y 24 meses (Barile, 2005). De acuerdo con Saini et al. (1998), las bubillas Murrah llegan a la pubertad a los 36.5 meses con 355.8 kg de peso vivo; asimismo, cuando se mejoran las condiciones ambientales para disipar el calor,

se reduce la edad al primer estro a 33.1 meses, con un peso promedio de 322.3 kg.

Por otro lado, la edad al primer servicio, -cuando la bubilla comienza la madurez sexual y, por ende, tiene la capacidad de concebir, llevar a término una gestación y continuar con su producción y desarrollo-; se debe alcanzar cuando llegue al 65% del peso adulto (Acuña y Crudeli, 2016). Considerando el peso promedio de hembra predominante en las distintas regiones de Latinoamérica, de 525 kg, el peso promedio al primer servicio es de alrededor de 340 kg (Crudeli, 2011); en tanto que la edad en que se registra este evento, según lo reportado por Bedoya et al. (2002) es de 27.27 ± 1.97 meses.

Es importante valorar la condición corporal al momento del servicio. Los animales con el máximo desempeño reproductivo presentaron, en un estudio realizado por Anitha et al., (2011), una condición corporal de 3.5 a 4.0 al parto y de 3.0 a 3.5 al primer servicio. La tasa de preñez al momento del servicio, con una condición corporal de 3.5, es de 86% (Sampedro y Crudeli, 2016).

El periodo de gestación en búfalas es casi un mes más amplio que en el caso de los vacunos, con un rango de 299 a 340 días (Crudeli, 2011). El periodo de gestación depende de la raza: para la Murrah es de 300 a 306 días, en tanto que, para la Mediterránea, se prolonga de 311 a 315 días y en la raza Jafarabadi puede llegar hasta los 330 días; por su

parte, el búfalo de pantano (Carabao) presenta una duración más larga que puede llegar hasta los 340 días (Montiel y Montiel, 2016). Finalmente, las búfalas presentan una tasa de parición de aproximadamente 90% (Vázquez et al., 2018), que es uno de los registros que les genera ventajas frente a otras especies, especialmente la bovina.

Después del parto se inicia la etapa de lactancia, la cual registra duraciones promedio de 240 a 270 días, según reportan Vázquez et al. (2018) y Gutiérrez et al. (2006). En el caso de Brasil, Crudeli (2011) registró búfalas que producen hasta 5,200 litros de leche por lactación, que sin duda es un rendimiento sobresaliente en condiciones de trópico.

Al mismo tiempo que inicia la lactancia, comienza una serie de modificaciones fisiológicas en el útero de la búfala para recuperarse de las transformaciones sufridas durante la preñez, de modo que sea posible la siguiente gestación. Este proceso, conocido como puerperio, indica que la involución uterina finaliza alrededor de los 18 días post parto y tiene su primer celo y ovulación alrededor de los 37 y 38 días post parto, respectivamente (Crudeli y De La Sota, 2016). Debido a la duración del periodo de gestación, es importante que el tiempo entre el parto y la subsecuente concepción no rebase los 60 días para que los intervalos entre partos se acerquen a los 12 meses, como referente ideal. De hecho, para lograr un intervalo entre partos de 13 a 14 meses

bajo condiciones de explotación comercial, la concepción debe ocurrir de 85 a 115 días postparto (Crudeli y De La Sota, 2016).

En la investigación presentada por Martínez et al. (2009), el intervalo entre partos fue de 13.93 ± 1.18 meses; datos similares reportaron Bedoya et al. (2002) con 13.83 ± 1.04 meses. Dicho indicador es de alta importancia económica ya que se relaciona con el tamaño de la descendencia y, por ende, con los índices de productividad y rentabilidad.

En un estudio de exploración directa, realizado por los autores de este documento en unidades de producción de búfalo al sureste de México, se observó un peso promedio de 245 kg en las crías destetadas a los nueve meses de edad. El inicio de la pubertad se identificó a los 15 meses con alrededor de 300 kg; la edad al primer servicio, a los 23 meses con un peso aproximado de 360 kg. La gestación fue de 300 días, alcanzando un peso de 520 kg al primer parto con 33 meses. La lactancia media fue de 270 días, con un periodo medio de parto/preñez de tres meses, logrando un intervalo entre partos de aproximadamente 390 días (Figura 3).

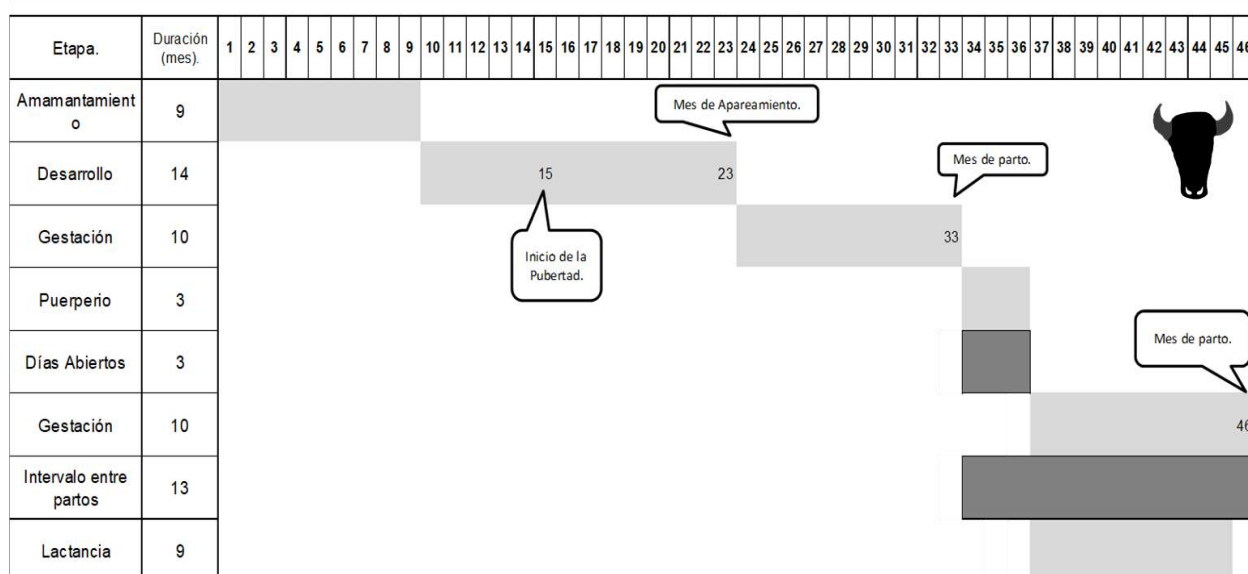


Figura 3. Ciclo productivo y reproductivo de la búfala

Fuente: Elaboración propia con base en observaciones de campo, (2018-2019).

Es importante subrayar que la variación de parámetros productivos estimados por los diferentes autores se explica en función de la diversidad de macro y micro condiciones como, por ejemplo, las concernientes a alimentación, instalaciones, manejo, genética y bienestar animal, entre otras, en las que se mantienen los búfalos de agua. Por consiguiente, con un adecuado control de estas condiciones, los búfalos pueden expresar su potencial productivo (Bedoya et al., 2002). Lo anterior se ha tratado de optimizar a través de biotecnologías, como la inseminación artificial (IA), la transferencia embrionaria (TE) y la fertilización in-vitro (FIV) (Crudeli, 2011). La experiencia directa permite inferir que estos avances se atribuyen principalmente a importaciones de material genético proveniente de países con programas genéticos avanzados, entre los cuales resalta Italia con la raza Mediterránea, ya que genera indicadores en función

de estimaciones genéticas y de pedigrí, relacionados con características de salud, tipo, productivas y reproductivas.



Figura 4. Protocolo de inseminación a tiempo fijo de la búfala en el trópico húmedo mexicano

De igual forma, se experimentan sincronizaciones de estro para la desestacionalización de los ciclos de las búfalas (Figura 4), lo cual permite mejorar genéticamente al ganado y disponer de lotes con potencial para producir todo el año, a fin de atender la creciente demanda de alimentos de buena calidad (Baruselli y Carvalho, 2016), bajo los criterios que se examinan en el siguiente apartado.

6. PRODUCCIÓN DE LECHE Y CARNE DE BÚFALO

En respuesta a una demanda creciente y diversificada, se han buscado, y han surgido, nuevas alternativas para producir alimentos. La crianza del búfalo contribuye en ese sentido tanto con carne como con leche de alta calidad composicional.



Figura 5. Animales destinados para diferentes fines zootécnicos (leche y carne). A. Búfalos destinados a la industria cárnica. B. Búfalas productoras de leche.

6.1. La búfala como productora de leche

La leche de búfala tiene un valor altamente nutritivo, por lo cual es valorada en productos derivados como quesos, mantequilla, leche en

polvo, leches maternizadas, leches fermentadas, helados y dulce de leche, entre otros. Además, posee un alto rendimiento en la elaboración de dichos productos, gracias a la rica composición de la leche, en el que se comparan cuatro estudios de análisis composicional. Es pertinente destacar aquí, el porcentaje de grasa, con valores superiores a 7.0 y un máximo de 8.8 (Patiño et al., 2005). La proteína supera el 4%, sobresaliendo el resultado de Patiño et al. (2005) con 5.2%. En lactosa el valor más alto lo reportaron Mahmood y Usman (2010) con 5.41% y, el más bajo, Patiño et al. (2005) con 4.55%. Tales valores son comparativamente positivos, como lo constatan otros autores y estudios (El-Salam, 2011; Patiño, 2011; Cervantes, 2010). En algunos países, como es el caso de India y Pakistán, la búfala aporta más leche que el ganado vacuno (El-Salam, 2011). Como se muestra en el estudio de Ocampo (2016), la leche de búfala, en comparación con la de vaca y la de cabra, es más rica en casi todos los nutrientes principales, como proteína, grasa, lactosa, sólidos totales, sólidos no grasos y minerales (Ocampo et al., 2016) (Cuadro 2).

Especie	% Lactosa	% Grasa	% Proteína	%Sólidos totales	Calcio(mg/kg)	Fósforo(mg/kg)	Potasio (mg/kg)	Magnesio (mg/kg)
Vaca	4.50 ± 0.01	3.6 ± 0.25	3.02 ± 0.1	11.93 ± 0.31	769.9 ± 49.64	545.75 ± 50.56	1157.05 ± 163.27	39.65 ± 9.40
Cabra	4.20 ± 0.01	4.40 ± 0.30	3.01 ± 0.29	12.59 ± 0.01	609.1 ± 53.60	560.8 ± 29.56	1142.65 ± 11.95	44.85 ± 3.04
Búfala	5.06 ± 0.01	7.24 ± 0.35	4.08 ± 0.21	16.82 ± 0.52	1166.65 ± 260.43	635.15 ± 52.82	582.35 ± 125.94	66.1 ± 0.28

Cuadro 2. Comparativo de composición de leche de la vaca, cabra y búfala
Fuente: Ocampo et al. (2016).

La composición proteica de la leche de búfala también es sobresaliente, ya que de entre las proteínas de la leche más importantes, se encuentran las caseínas: α , κ y β (Semex, 2015). La producción de β -caseína está controlada por dos variantes: la A1 y la A2. La variante A1 se presenta con alta frecuencia en leche de vaca, y tiene relación con la diabetes mellitus y la arterioesclerosis (Riaño y Narváez, 2015). La leche de búfala, en cambio, sólo contiene la variante A2, al igual que la leche de cabra. Además, otro estudio reportó que personas alérgicas a la leche de vaca pueden tolerar la de búfala, lo que aumenta sus propiedades alimenticias (El-Salam, 2011).

6.2. El búfalo como productor de carne

Diferentes estudios realizados con diversas razas de búfalos reflejan su alto potencial para la producción de carne. Al contrastar los rendimientos del búfalo con los del ganado vacuno, el búfalo es más precoz, con mejores tasas de conversión alimenticia, y un peso para sacrificio en periodos más cortos; ventajas que resultan de un aprovechamiento más eficiente de las pasturas (Gómez et al., 2007; Cervantes et al., 2010; Guerrero-Legarreta et al., 2019).

Además, la carne producida por los búfalos no difiere en sabor, textura y palatabilidad de la del vacuno tradicional, aunque presenta una distribución de la grasa corporal diferente, pues se concentra alrededor de los riñones y en el mesenterio. Sólo una mínima parte de grasa se acumula en los músculos, lo que deriva en una carne más

magra (Torres, 2009). La carne de búfalo tiene la ventaja adicional de un contenido reducido de ácidos grasos saturados y colesterol (Paleari et al., 1997), así como un mayor contenido de ácidos grasos ω -6 y ω -3. Por ello, la carne de búfalo constituye una opción en la alimentación humana, con menor riesgo a ciertas enfermedades que la que de otro tipo de carnes (Neath et al., 2007; Kandeepan et al., 2009).

Sin embargo, en países en los que la carne de búfalo es de reciente introducción, como México, prácticamente no se hace diferenciación alguna y se comercializa como carne de vacuno. Esta tendencia representa una desventaja para la carne de búfalo, a efecto de que los consumidores la incorporen paulatinamente en su dieta en consideración a los beneficios que les reporta. Este inconveniente es debido, en gran medida, a que en la legislación de muchos países la carne de búfalo no está presente en la normatividad ni en los esquemas de trazabilidad; situación que hasta ahora ha impedido el acceso de la carne de búfalo a mercados más amplios y a mayores precios en perjuicio de los productores de carne bufalina.

CONSIDERACIONES FINALES

La producción de búfalos en las zonas tropicales se está afianzando como una alternativa productiva, dada su amplia capacidad de adaptación, así como por su potencial para responder a esquemas de desarrollo sustentable. Los búfalos destacan por su rusticidad, que

bien aprovechada puede implicar el aprovechamiento de zonas donde otras especies difícilmente prosperarían.

Para avanzar en esa línea y generar productos con valor económico y social, se requiere de conocimientos cada vez más finos sobre el desempeño de los búfalos en el medio ambiente donde se interviene, así como de la implementación de medidas prácticas y tecnologías para establecer los índices de agostadero adecuados y, en su caso, sistemas de pastoreo tecnificado, que permitan un equilibrio entre productividad, economía y sustentabilidad. A la par, son necesarias precisiones para tecnificar el manejo general de los sistemas bufalinos que incidan en diversos aspectos, como son: alimentación, nutrición, reproducción, genética, y bienestar animal, entre otros. Como se ha documentado, en los sistemas de baja y mediana densidad, así como en los silvopastoriles, los búfalos registran niveles de productividad aceptables.

Las posibles mejoras a los sistemas de producción de búfalos rebasan los aspectos técnico-productivos, ya que también se deben considerar las condiciones de mercado para que se integren las normas sanitarias y de inocuidad correspondientes, con el fin de diferenciar la leche, carne y derivados provenientes del búfalo, destacando sus cualidades. Estas acciones se podrían acompañar de campañas de difusión para que los consumidores conozcan las peculiaridades de los productos y subproductos de esta especie.

Para promover su aceptación es necesario que el sector académico amplíe y profundice sus investigaciones en materia de cría, gestión y

aprovechamiento del búfalo. Se requiere tanto de información básica y experimental sobre el potencial productivo de la especie, como del desarrollo de tecnologías para elevar la productividad de las explotaciones, bajo una perspectiva de desarrollo sustentable. Además, se precisa de esquemas más eficientes de organización y acceso a mercados, que permitan generar mayores ingresos a los productores y favorecer el desarrollo regional de áreas del trópico.

REFERENCIAS

- Acuña, M., Crudeli, G., 2016. Pubertad, in Crudeli, G., Konrad, J.L., Patiño, E.M. (Eds.), Reproducción en Búfalas, Moglia, Argentina, pp. 39-51.
- Ahmad, S., Gaucher, I., Rousseau, F., Beaucher, E., Piot, M., Grongnet, J.F., Gaucheron, F., 2008. Effects of acidification on physico-chemical characteristics of buffalo milk: A comparison with cow's milk. Food Chem. 106(1), 11-17.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.021>
- Almaguer, P., 2007. El búfalo, una opción de la ganadería. Rev. Electrón. Vet. 8(8), 1-23.
- Angulo, R.A., Noguera, R.R., Berdugo, J.A., 2005. The water buffalo (*Bubalus bubalis*) an efficient user of nutrients; aspects on fermentation and ruminal digestion. Livest. Res. Rural Dev. 17(6).

- Anitha, A., Rapa, K.S., Suresh, J., Moorthy, P.S., Reddy, Y.K., 2011. A body condition score (BCS) system in Murrah buffaloes. *Buffalo Bull.* 30, 79-96.
- Barboza, J.G., 2011. Bondades ecológicas del búfalo de agua: camino hacia la certificación. *Rev. Tecnol. Marcha.* 24(5), 82.
- Barile, V., 2005. Reproductive efficiency in female buffaloes, in: Borghese, A. (Ed.), *Buffalo Production and Research*. FAO Technical Series, Roma, pp. 77-108.
- Bartocci, S., Amici, A., Verna, M., Terramoccia, S., Martillotti, F., 1997. Solid and fluid passage rate in buffalo, cattle and sheep fed diets with different forage to concentrate ratios. *Livest. Prod. Sci.* 52, 201-208. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00132-2](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00132-2)
- Baruselli, P., Carvalho, N., 2016. Sincronización del celo e inseminación artificial a tiempo fijo, in Crudeli, G., Konrad, J.L., Patiño, E.M. (Eds.), *Reproducción en Búfalas, Moglia, Argentina*, pp. 187-197.
- Bavera, G., 2005. Búfalo de agua: razas. http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/razas_de_bufalos/34-bufalo.pdf (accessed 3 February 2019).
- Bedoya, C., Mira, T., Guarín, J., Berdugo, J., 2002. Parámetros reproductivos del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) en el sur de Córdoba. Costa Norte Colombiana, in: VI World Buffalo Congress. 271-275.
- Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Morales-Canela, A., Orozco-Corrales, C., Mota-Rojas, D., 2019a. Capítulo 7. Los sistemas de producción

de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.

Bertoni, A., Álvarez, A., Mota-Rojas, D., 2019b. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. Soc. Rur. Prod. Med. Amb. 19 (38), 59-80.

Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J., Legarreta, I.G.-, 2020a. Similarities and Differences between River Buffaloes and Cattle : Health , Physiological , Behavioral and Productivity Aspects. J. Buffalo Sci. 9, 92-109. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.12>

Bertoni, A., Mota-Rojas, D.; Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I. et al. 2020b. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. J. Anim. Behav. Biometeorol. 8:288-297. doi.org/10.31893/jabb.20038

Belmiro, E., 2006. Explotación ecológica del Búfalo, in: Segundo Simposio de Búfalos, Europa-América.

Borghese, A., Mazzi, M., 2005. Buffalo population and strategies in the world, in: Borghese, A. (Ed.), Buffalo Production and Research. FAO Technical Series, Roma.

- Cervantes, A., Espitia, A., Prieto, E., 2010. Viabilidad de los sistemas bufalinos en Colombia. *Rev. Colombiana Cienc. Anim.* 2(1), 215-224. <https://doi.org/10.24188/recia.v2.n1.2010.342>
- Crudeli, G, De La Sota, R., 2016. Puerperio, in Crudeli, G., Konrad, J.L., Patiño, E.M. (Eds.), *Reproducción en Búfalas*, Moglia, Argentina, pp. 139-147.
- Crudeli, G., 2011. Fisiología reproductiva del búfalo. *Rev. Tecnol. Marcha.* 24(5), 74-81.
- Crudeli, G., 2014. Pasado, presente y futuro del búfalo en Argentina. *Rev. Vet.* 25(2), 140-145.
- Cruz-Monterrosa, R.G., Mota-Rojas, D., Ramírez-Bribiesca, E., Mora-Medina P., Guerrero-Legarreta I., 2020. Scientific findings on the quality of river buffalo meat and it's prospects for future studies. *J. Buffalo Sci.* 9, 170-180. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.18>
- Cubbage, F., Balmelli, G., Bussoni, A., Noellemeyer, E., Pachas, A.N., Fassola, H., Colcombet, L., Rossner, B., Dube, F., Lopes de Silva, M., Stevenson, H., Hamilton, J., Hubbard, W., 2012. Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. *Agroforest. Syst.* 86(1), 303-314. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9482-z>
- De Rosa, G., Grasso, F., Pacelli, C., Napolitano, F., Winckler, C., 2009. The welfare of dairy buffalo. *Ital. J. Anim. Sci.* 8, 103-116. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s1.103>

- Di Palo, R., Ariota, B., Zicarelli, F., De Blasi, M., Zicarelli, G., Gasparrini, B., 2009. Incidence of pregnancy failures in buffaloes with different rearing system. *Ital. J. Anim. Sci.* 8(2), 619-621. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s2.619>
- El-Salam, M., El-Shibiny, S., 2011. A comprehensive review on the composition and properties of buffalo milk. *Dairy Sci Technol.* 91(6), 663-699. <https://doi.org/10.1007/s13594-011-0029-2>
- Enríquez, Q., Hernández, G., Quero, C., Martínez, M., 2015. Producción y Manejo de Gramíneas Tropicales para Pastoreo en Zonas Inundables. INIFAP - Colegio de Postgraduados, Folleto Técnico. 60.
- Franzolin, R., Dehority, B., 1999. Comparison of protozoal population and digestion rates between water buffalo and cattle fed an all forage diet. *J. Appl. Anim. Res.* 16(1), 33-46. <https://doi.org/10.1080/09712119.1999.9706260>
- Fundora, O., Quintana, F.O., González, M.E., 2004. Performance and carcass composition in river buffaloes fed a mixture of star grass, natural pastures and native legumes. *Cuba. J. Agric. Sci.* 38, 41-44.
- Fundora, O., 2015. Comportamiento de búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) de la raza Buffalypso en sistemas de alimentación basados en pastoreo: quince años de investigaciones en el Instituto de Ciencia Animal. *Cuba. J. Agric. Sci.* 49, 161-171.
- García, A.R., Matos, L.B., Júnior, L., De Brito, J., Nahúm, B.D.S., Araújo, C.V.D., Santos, A.X., 2011. Physiological features of dairy

- buffaloes raised under shade in silvipastoral systems. *Pesq. Agropec. Bras.* 46, 1409-1414. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000039>.
- García, S., Planas, T., 2005. Manual de crianza del búfalo, first ed. RACPA, Cuba.
- Gómez, D.A.A., Muñoz, M.F.C., Lugo, A.H., 2007. El búfalo como animal productor de carne: producción y mejoramiento genético. *Rev Lasallista Investig.* 4, 43-9.
- González, P., 2018. Presentación y resumen del documento del estado de arte de la red de innovación tecnológica para la ganadería bovina tropical, in: González, P. Dávalos, F. (Eds.), Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería tropical. REDGATRO, México, pp. 20-44.
- Guerrero, L., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Cruz, R.G.M., Mora-Medina, P., Berdugo, G., 2018. El Búfalo de Agua: versátil, rústico y sostenible como productor de carne. *Agro Meat Argentina.* 1-10.
- Guerrero-Legarreta, I., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., 2019. Capítulo 6. El búfalo de agua productor de carne por el mundo: indicadores productivos y sanitarios. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). *El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales* (192-224), Segunda edición. México, BM Editores.
- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Cruz-Monterrosa, R., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Ramírez-Bribiesca, E., Bertoni, A.,

- Berdugo-Gutiérrez, J., & Braghieri, A., 2020. River buffalo meat production and quality: sustainability, productivity, nutritional and sensory properties. *J. Buffalo Sci.* 9, 159-169. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.17>
- Gutiérrez, V.A., Hurtado, L.N., Cerón-Muñoz, M., 2006. Estimativas de factores de corrección para duración de la lactancia, edad y época de parto en búfalas de la Costa Atlántica Colombiana. *Livest. Res. Rural Dev.* 18(4).
- HOMMA, H., 1986. Cellulase Activities of Bacteria in Liquid and Solid Phases of the Rumen Digesta of Buffaloes and Cattle. *Nihon Chikusan Gakkaiho* 57, 336–341. <https://doi.org/10.2508/chikusan.57.336>
- Jainudeen, M., Hafez, E., 2000. Cattle and buffalo, in: Hafez, B., Hafez, E. (Eds.), *Reproduction in farm animals*. Wiley Online Library, USA.
- Jalaludin, S. Ho, Y.W., Abdullah, N., Kudo, H., 1992. Rumen microorganism in water buffalo. *Buffalo J.* 8(1), 211-220.
- Kandeepan, G., Biswas, S., Rajkumar, S., 2009. Buffalo as a potential food animal. *Int. J. Livest. Prod.* 1(1), 001-005.
- Konrad, J., 2016. Inseminación Artificial, in Crudeli, G., Konrad, J.L., Patiño, E.M. (Eds.), *Reproducción en Búfalas*, Moglia, Argentina, pp. 175-182.
- Leao, M.I., Valadares, R.F., Coelho da Silva, J.F., Valadares Filho, S.D.C., Torres, R.D.A., 1985. Biometría do trato digestivo de bubalinos y bovinos. *Rev. Sociedade Bras. Zootecnia.* 14(5), 559-564.

- López, A., 2013. Perspectivas de la crianza del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) en la Amazonía Ecuatoriana. Rev. Amazon. Cienc. Tecnol. 2(1), 19-30.
- Mahmood, A., Usman, S., 2010. A comparative study on the physicochemical parameters of milk samples collected from buffalo, cow, goat and sheep of Gujrat, Pakistan. Pakistan J. Nutr. 12(1), 1192-1197. <https://doi.org/10.3923/pjn.2010.1192.1197>
- Martínez, A., Ray, J.V., García-López, R., Benítez, D., Guevara, O., 2009. Comportamiento de algunos indicadores productivos y reproductivos del búfalo de río en la provincia Granma. J. Agric. Sci. 43, 127-130.
- Mattapallil, M.J., Ali, S., 2004. Analysis of conserved microsatellite sequences suggests closer relationship between water buffalo *Bubalus bubalis* and sheep *Ovis aries*. DNA cell Biol. 18(6), 513-519. <https://doi.org/10.1089/104454999315231>
- Mendes, A., Lima, F., 2011. Aspectos nutricionales del búfalo. Rev. Tecnol. Marcha. 24(5), 105-120.
- Mitat, V., 2011. Antecedentes y perspectivas de la actividad bufalina en el trópico. Rev. Tecnol. Marcha. 24(5), 121.
- Montiel, U., Montiel, M., 2016. Fecundación, Gestación y Parto, in Crudeli, G., Konrad, J.L., Patiño, E.M. (Eds.), Reproducción en Búfalas, Moglia, Argentina, pp. 97- 118.
- Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I., Pérez-Álvarez J.A., Rosmini, M., Napolitano, F., Ghezzi, M., Fernández-López, J. Braghieri, A.,

- Viuda, M., Bragaglio, A., & Mora-Medina, P., 2019a. Capítulo 1. La carne de búfalo de agua en las Américas: retos y oportunidades. En: Guerrero-Legarreta I, Napolitano F, Mota-Rojas D. & Orihuela A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., & Guerrero-Legarreta, I. Napolitano F., 2019b. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 14(035).
<https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>
- Mota-Rojas, D., Álvarez, A., Bertoni, A. Molina S., José, N., López, G., Mora, P., Guerrero, I., & Napolitano, F., 2019c. Capítulo 8. La importancia de los animales en labores rurales: tracción, transporte y carga. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Muñoz, G., Huerta, B., Lara, B., Rangel, S., De la Rosa, A., 2016. Producción y calidad nutrimental de forrajes en condiciones del Trópico Húmedo de México. Rev. Mexicana Cienc. Agríc. 7(16), 3315-3327.
- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Berdugo, J., González-Lozano, M., Mora-Medina, P., Ruiz, J., Guerrero-Legarreta, I., 2018. El

Bienestar de la Búfala Lechera al Parto.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25623.21924>

Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Braghieri, A., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Cruz-Monterrosa, R., De Rosa, G., 2020. Factores Productivos y su incidencia en el bienestar de la búfala lechera en sistemas de producción extensivos e intensivos. Soc. Rur. Prod. Med. Amb. 20, (40), 155-173.

Neath, K., Del Barrio, A.N., Lapitan, R.M., Herrera, J.R.V., Cruz, L.C., Fujihara, T., Muroya, S., Chikuni, K., Hirabayashi, M., Kanai, Y., 2007. Difference in tenderness and pH decline between water buffalo meat and beef during postmortem aging. Meat Sci. 75(3), 499-505. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.08.016>

Ocampo, G.R., Gomez, A.C., Restrepo, V.D., Cardona, C.H., 2016. Estudio comparativo de parámetros composicionales y nutricionales en leche de vaca, cabra y búfala, Antioquia, Colombia. Rev Colomb Cienc Pec. 8(1), 177-186. <https://doi.org/10.24188/recia.v8.n2.2016.185>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Ganadería Tropical. <http://www.fao.org/3/ah647s/AH647S06.htm> (accessed 27 January 2019).

Paleari, M., Camisasca, S., Giuseppe, B., Renon, P., Tessuto, L., Benedetti, G., Bertolo, G., 1997. Comparison of the physico-chemical characteristics of buffalo and bovine meat. Fleischwirtschaft International. 6(1), 11-13.

- Pant, H., Roy, A., 1970. Studies on the rumen microbial activity of buffalo and zebu cattle. Concentrations of micro-organisms and total and particulate nitrogen in the rumen liquor. Indian J. Anim. Sci. 40(6), 600-609.
- Patino, E., Guanziroli, S., 2005. Milk composition of breed Jafarabadi in Corrientes. Rev. Electrón. Vet. 6(5), 1-4.
- Patiño, E.M., Crudeli, G.A., Mitat-Valdés, A., 2016. Origen, Distribución y Razas, in Crudeli, G., Konrad, J.L., Patiño, E.M. (Eds.), Reproducción en Búfalas, Moglia, Argentina, pp. 27-36.
- Patiño, M., Faisal, E.L., Cedres, J.F., Mendez, F.I., Stefani, M.C., 2005. Contenido mineral de leche de búfalas (*Bubalus bubalis*) en Corrientes, Argentina. Rev. Vet. 16(1), 40-42.
- Patiño, M., 2011. Producción y calidad de la leche bubalina. Rev. Tecnol. Marcha. 24(5), 25.
- Paul, S., 2011. Nutrient requirements of buffaloes. R. Bras. Zootec. 40(1), 93-97.
- Peters, M., Franco, T., Schmidt, A., Hincapié, C.B., 2010, Especies Forrajeras Multipropósito Opciones para Productores del Trópico Americano, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/54681> (accessed 13 January 2019).
- Puppo, S., Grandoni, F., 1993. Microflora ruminale in bufali e bovini alimentati con diete fibrose. In: Atti Convegno Miglioramento dell'efficienza produttiva e riproduttiva della specie bubalina. Potenza, Italy. 307-321.

- Quintanilla-Quintero, S.R., 2014. Variación genética de una población colombiana de búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) a través de un panel de microsatélites relacionados con la especie (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá). 1-27. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51271> (accessed 17 January 2019).
- Ranjhan, S., 1992. Nutrition of river buffaloes in Southern Asia. ELSEVIER. 111-134.
- Riaño, J., Narváez, S., 2015. Composición, beneficios y enfermedades asociadas al consumo de leche de vaca. Rev. Sthetic & Acad. 13-24.
- Romero, S., Pérez de León, A., 2014. Bubalinocultura en México: retos de industria pecuaria naciente, in: González, S., Soto, B.E., Madrid, B.N. (Eds.), Logros y Desafíos de la Ganadería Doble Propósito. GIRARZ, Venezuela.
- Saini, M., Dhanda, O.P., Neelam, S., Georgie, G.C., 1998. The effect of improved management on reproductive performance of pubertal buffalo heifers during summer. Indian J. Dairy Sci. 51(4), 250-253.
- Salazar, D., 2000. Algunos parámetros reproductivos de un rebaño bufalino, in: I Congreso internacional sobre mejoramiento animal, Cuba.
- Sampedro, D., Crudeli, G., 2016. Condición Corporal y Preñez en Búfalas, in Crudeli, G., Konrad, J.L., Patiño, E.M. (Eds.), Reproducción en Búfalas, Moglia, Argentina, pp. 167-173.

- Sideney, J., Lyford, J., 1993. Crecimiento y desarrollo del aparato digestivo de los rumiantes, in: Church, D. (Ed.), El rumiante, fisiología digestiva y nutrición, Acribia S.A., España.
- Simón, L., Galloso, M., 2011. Presence and perspective of buffaloes in Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34(1), 3-20.
- Singh, S., Pradhan, K., Bathia, S.K., 1992. Relative ruminal microbial profile of cattle and buffalo fed wheat straw-concentrate diet. *Indian J. Anim. Sci.* 62(12), 1197-1202.
- Souza, N., Franzolin, R., Rodrigues, P., Scoton, R., 2000. Effects of the increasing levels of neutral detergent fiber in the diet on the ruminal fermentation in water buffaloes and cattle. *R. Bras. Zootec.* 29(5), 1553-1564. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000500038>
- Torres, E., 2009. Búfalos: una especie promisor. http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/razas_de_bufalos/69-Bufalos_peru.pdf.
- U.S. Forest Service, 1994. Capítulo 1. La América Tropical, una Región Forestal, en https://www.fs.fed.us/research/publications/producci%F3n_for_estal_para_am%E9rica_tropical/cap.1.pdf (accessed 9 enero 2019).
- Vázquez, D., Lara, D., Ácar, N., 2019. Búfalos de Agua (*Bubalus bubalis*) Parámetros zootécnicos en el sur de Veracruz, México. *Rev. Entorno Ganadero*, 42-45.

Versteeg, B., 2015. Aumenta la Popularidad de la leche A2. Semex News.

http://www.semex.com/downloads/sitefiles/sp/A2A2report_MAR2016SP.pdf (accessed 12 February 2019).

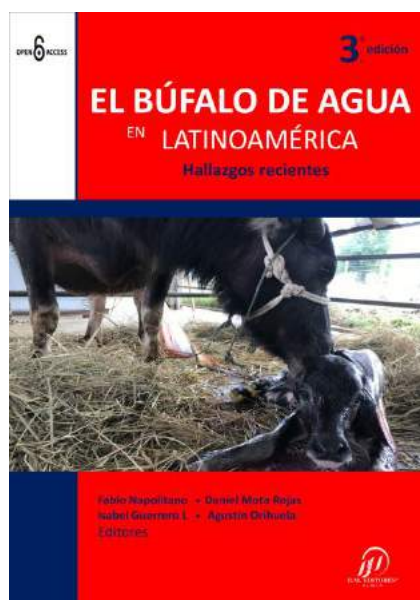
Zicarelli, L., 2016. Estacionalidad Reproductiva en Búfalas, in Crudeli, G., Konrad, J.L., Patiño, E.M. (Eds.), Reproducción en Búfalas, Moglia, Argentina, pp. 73-94.



CAPÍTULO 6

ASPECTOS ZOOTÉCNICOS Y MORFOFISIOLÓGICOS: ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE BÚFALOS DE AGUA Y GANADO BOVINO CONVENCIONAL

Aldo Bertoni, Daniel Mota-Rojas, Fabio Napolitano, Emilio Sabia, Adolfo Álvarez-Macías,
Ada Braghieri, Patricia Mora-Medina, Antonio Di Francia, Armando Morales-Canela, Rosy
Cruz-Monterrosa, Jesús Berdugo-Gutiérrez e Isabel Guerrero-Legarreta



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3^a. Edición

CAPÍTULO 6

Aspectos zootécnicos y morfofisiológicos: Estudio comparativo entre búfalos de agua y ganado bovino convencional

Aldo Bertoni¹, Daniel Mota-Rojas¹, Fabio Napolitano², Emilio Sabia³, Adolfo Álvarez-Macías¹, Ada Braghieri², Patricia Mora-Medina⁴, Antonio Di Francia⁵, Rosy Cruz-Monterrosa⁶, Armando Morales-Canela⁷, Jesús Berdugo-Gutiérrez⁸ e Isabel Guerrero-Legarreta⁹

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.

²Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

³Facultad de Ciencia y Tecnología. Free University of Bolzano, Piazza Università, Bolzano, Italia.

⁴Departamento de Ciencias Pecuarias. Universidad Nacional Autónoma de México. FESC. México.

⁵Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici, Naples, Italy.

⁶Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Lerma, Lerma, México.

⁷Ciencias Agrícolas de la Universidad EARTH. Costa Rica.

⁸Centro Latinoamericano para el Estudio del Búfalo de Agua (CLABU). Colombia.

⁹Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-I. Ciudad de México. México.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) se ha revelado como especie ganadera prometedora, tanto como actividad económica como fuente de alimento humano (Napolitano et al., 2020). Esta especie ha sobresalido por su capacidad para adaptarse a diferentes hábitats y por su notable desempeño productivo, que la han llevado a sustituir de manera lenta pero consistente a los bovinos convencionales (del género *Bos*) en parte de las unidades productivas



(Napolitano et al., 2013; 2018, 2019a,b; 2019c; Guerrero-Legarreta et al., 2019; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c,d,e).

Los búfalos de agua se han desarrollado principalmente en zonas tropicales y se han perfilado como una alternativa para diversificar la ganadería, ya que tienen la capacidad de adaptarse a zonas difíciles, donde predominan suelos con drenaje deficiente (Gutiérrez et al., 2006; Mendes y De Lima, 2011; Mota-Rojas et al., 2020) y ha demostrado habilidad para aprovechar eficientemente los pastos naturales e inducidos de mediana y baja calidad forrajera (García et al., 2011; Romero y Pérez, 2014; Crudeli et al., 2016; Bertoni et al., 2019a,b; Bertoni et al., 2020a,b).

En esas condiciones, el búfalo de agua se ha empleado como animal de doble o triple propósito (leche, carne y trabajo) (Mota-Rojas et al., 2019c; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b; 2020a,b; Cruz-Monterrosa et al., 2020), sin embargo, tradicionalmente se le ha criado para la obtención de leche, la cual resalta por su buena calidad y alto rendimiento para elaborar derivados como el queso Mozzarella. De acuerdo con datos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), la producción mundial de leche fluida durante 2018 se ubicó en 605.8 millones de toneladas (mdt); 83.4 por ciento de este volumen correspondió a leche de vaca y el resto a otras especies. Entre estas últimas, destaca el búfalo de agua, que contribuyó con el 13 por ciento (USDA, 2018).

Respecto a la producción láctea, se ha documentado que las búfalas en Italia mantienen lactancias promedio de 270 días con 2,462 kg/lactancia con de 8.07% y 4.65%, grasa y proteína, respectivamente, mientras que las vacas lecheras Holstein registran lactancias promedio de 9,690 kg/lactancia con 3.77% de grasa y 3.37% de proteína, es decir, las búfalas no necesariamente compiten en volumen (aunque habría que revisar otros indicadores, como el de costo—beneficio) pero si en calidad, gracias al alto valor composicional de este líquido (AIA, 2018). Recientemente, se han estudiado las propiedades fisicoquímicas y la calidad de la carne de búfalo y productos de valor agregado (hamburguesas, entre otros), los cuales están penetrando en el gusto de los consumidores, que normalmente se restringían a proteína de origen animal proveniente de especies ganaderas tradicionales.

Tanto la búfala como la vaca lechera pertenecen a la familia *Bovidae* y son catalogadas especies ganaderas de gran relevancia en la industria láctea por su volumen de producción, sin embargo, presentan diferencias filogenéticas, morfofisiológicas y de comportamiento (Bertoni et al., 2019a,b). Por ello, el objetivo del presente capítulo consiste en analizar, discutir y contrastar las características anatómicas, fisiológicas y sistemas de producción de la búfala de agua *versus* la vaca lechera y ganado domestico convencional, para identificar las potencialidades y restricciones de las búfalas.

Además, con esta revisión, se pretende explorar el conocimiento disponible para prevenir posibles errores al momento de la crianza o adopción de búfalos en diferentes sistemas productivos, que podrían comprometer su bienestar y en consecuencia generar mermas productivas y reproductivas, que generalmente repercuten en una baja rentabilidad de las unidades de producción de búfala lechera.

2. ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA

Los búfalos de agua y los vacunos corresponden a la familia *Bovidae*, a pesar de ello, se sitúan en una posición filogenética diferente y exhiben características anatómicas, fisiológicas y de comportamiento divergentes, ya que el búfalo de agua se afilia a la subfamilia *Bubalinae* en tanto que las vacas a la *Bovinae* (Bertoni et al., 2019a,b; 2020a,b).

En general, las principales diferencias anatomofisiológicas entre las especies en cuestión se identifican en el tracto digestivo, aparato reproductor, sistema de termorregulación, glándula mamaria y pezuñas, entre otros (Romero y Pérez, 2014) (**Figura 1**). Lo anterior se asocia con niveles de eficiencia distintos en el desempeño productivo y reproductivo (Barboza, 2011).

En los siguientes apartados se exponen aspectos trascendentes de la morfofisiología y aspectos productivos que caracterizan al búfalo de agua del ganado doméstico como a la vaca lechera.

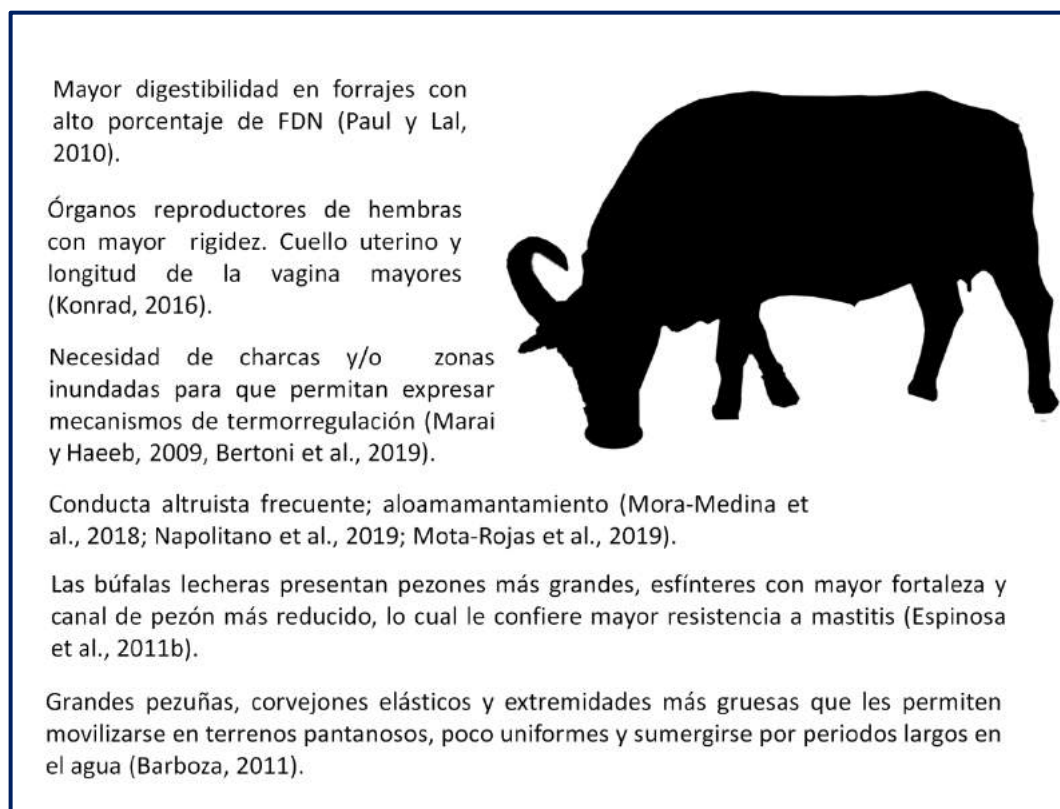


Figura 1. Principales características que diferencian al búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) con el ganado convencional del género *Bos*.

Sistema digestivo

Aunque las búfalas al igual que las vacas lecheras son catalogadas como grandes rumiantes (Angulo et al., 2005), las primeras denotan diferencias en el sistema digestivo como son: mayor longitud y capacidad del tracto gastrointestinal, tasas de pasaje más rápidas, mayor nivel de masticación y de contracciones ruminales, así como microbiota con una relación distinta (población de microorganismos, pH, síntesis de proteína), entre otras (Paul y Lal, 2010; Mendes y Lima, 2011). Es por lo anterior, que los búfalos de agua consigan mayores tasas de consumo de forrajes con alto porcentaje de celulosa

(superiores al 70% de la materia seca) y lignina (Ann y George, 2014), lo cual podría coadyuvar en la mitigación de la producción de gases de efecto invernadero.

Aparato reproductor

En cuanto al aparato reproductor de la búfala y la vaca lechera los órganos son similares, sin embargo, el de la vaca presenta menor rigidez, es menos muscular y es ligeramente más grande y pesado en comparación con el de la búfala (Sane et al., 1965; Konrad, 2016)

En este sentido, al comparar la biometría del aparato reproductor de búfalas Murrah con la de bovinos Nelore, se identificó que el peso de los ovarios, la longitud y la anchura del ovario derecho, el número de anillos del cérvix, la longitud de la vagina y el cuello uterino fueron mayores en bovinos que en búfalos. Sin embargo, el grosor de los ovarios, la longitud del oviducto izquierdo, el cuerpo uterino, la longitud y la amplitud del cuerno izquierdo destacaron en búfalos sobre los de bovinos. Al respecto, Carvalho et al. (2010) no detectaron diferencias entre la longitud y la anchura del ovario izquierdo, la longitud del oviducto derecho, la longitud y la anchura de la asta uterina derecha entre ambas especies (Carvalho et al., 2010)

Estacionalidad reproductiva

Varios factores han influenciado la actividad reproductiva tales como: condiciones ecológicas y climáticas las cuales están estrechamente

relacionadas con la disponibilidad de alimento y su consecuente eficiencia reproductiva. En ese contexto destaca que las vacas lecheras se han desarrollado en zonas donde predominan los sistemas de producción de tipo intensivo, en los cuales la oferta alimento suele ser mayor en cantidad y calidad nutrimental a lo largo del año (Zicarelli, 2016).

La estacionalidad reproductiva de la vaca lechera (género *Bos*) se ha visto influenciada y, en especial se ha contraído, gracias al proceso de domesticación y a los factores físico-bióticos que ejercen su acción en dicha especie, sin embargo, en algunos animales que se desarrollan en condiciones más cercanas a las naturales, como búfalos y ganado convencional criado en libertad, se sigue manifestando la estacionalidad reproductiva relacionada con la duración de horas luz y con la disponibilidad de forraje (Zicarelli, 2016; Sampedro y Crudeli, 2016).

En el hemisferio norte la producción de los forrajes aumenta cuando las horas luz van disminuyendo, por lo cual, el búfalo de agua, que inicialmente se desarrolló en el trópico, manifiesta en mayor medida el estro en otoño, cuando los días son más cortos (Sampedro y Crudeli, 2016). La importancia de la duración del día en la estacionalidad reproductiva está demostrada; en estas circunstancias, la melatonina actúa en la glándula pineal desinhibiendo la secreción activa de la hormona luteinizante (LH), sin embargo, al aumentar las horas luz la

sensibilidad del hipotálamo se incrementa y se genera una retroalimentación negativa por lo que se libera menos cantidad de LH, de forma tal que el estradiol será insuficiente para estimular la ovulación en estos mamíferos (Crudeli, 2011; Crudeli et al., 2016; Sánchez et al., 2017).

En otro sentido, en la actualidad las vacas lecheras no suelen manifestar estacionalidad reproductiva, gracias a que se han desarrollado en ambientes cada vez más controlados, con diferentes sistemas de manejo y niveles de producción, ya que se suelen alimentar de manera artificial, lo que les garantiza diferentes fuentes nutrimentales a lo largo del año. Por el contrario, las búfalas lecheras aun cuando sean criadas en sistemas semi-intensivos, en donde se cuente con disponibilidad parcial de forraje, no se han liberado de la actividad reproductiva estacional (Zicarelli, 2016).

Condiciones climáticas estresantes

Los búfalos y el ganado convencional son animales endotérmicos, por lo cual, tienen la habilidad de controlar su temperatura corporal regulando su tasa metabólica, definiendo dicho proceso como termorregulación. Con ello, la energía producida por el metabolismo celular (catabolismo y anabolismo) de los animales, puede perderse parcialmente a través del calor irradiado por el organismo del animal (Mozo et al., 2005; Casas-Alvarado et al., 2019). Sin embargo, si existe

deficiencia en la pérdida de calor, el animal puede sufrir de estrés calórico. En ese sentido, se ha demostrado que el ganado de corral de engorda es muy sensible al estrés por calor debido a su alimentación se fundamenta en dietas con alta energía (Blackshaw y Blackshaw, 1994) y bajo ambientes que carecen de la sombra necesaria.

Las razas lecheras de bovinos convencionales han tendido a desarrollarse principalmente en zonas templadas, sin embargo, su productividad se suele perturbar al someterlas a condiciones climáticas estresantes (alta temperatura y humedad) que menoscaban su bienestar animal. Por ello, se ha procedido a cruzamientos entre las razas *Bos taurus* y *Bos indicus*, con lo cual se han generado animales más tolerantes a temperatura y humedad debido a la disminución de su tasa metabólica y a la pérdida de calor por mecanismo de sudoración, sin embargo, por lo regular se contrae su productividad láctea (Abdelatif y Alameen, 2012).

Por otro lado, los búfalos de agua presentan un sistema termorregulador ineficiente frente a estímulos de calor extremo, al igual que los bovinos lecheros y ganado de engorda (*Bos taurus*), sin embargo, presenta ventajas sobre éstos que residen en la escasa presencia de pelo y en mayor grosor de la capa superficial de la piel (epidermis), con melanina que absorbe el calor y que les otorga el característico color negro a los búfalos de agua (Berdugo-Gutiérrez et al., 2019). Las partículas de melanina atrapan los rayos ultravioletas

(UV) y evitan que penetren a través de la dermis de la piel hasta capas de tejido más interno, con lo que reducen y amortiguan la radiación solar que podría llegar al núcleo corporal. Estos rayos UV son abundantes en la radiación solar de las regiones tropicales y subtropicales, por lo tanto, la exposición excesiva de la piel este tipo de radiación puede ser nociva para los búfalos (Ablas et al., 2007; Marai y Haebe, 2009; Berdugo-Gutiérrez et al., 2019; Bertoni et al., 2019b).

La temperatura corporal de los búfalos en ambientes con altas temperaturas solo puede conservarse, dentro de los límites normales si dispone de sombra, charcas, represas y lodo disponible o mediante la aplicación casi continua de agua, preferiblemente con una corriente de aire o viento para secarla; debido a su menor cantidad de glándulas de sudoración en comparación con los bovinos convencionales (Marai y Haebe, 2009) (**Figura 2**). Para ampliar información sobre mecanismos de termorregulación y uso de termografía infrarroja consulte el capítulo correspondiente o consulte la sección de “Termorregulación y ambiente”.

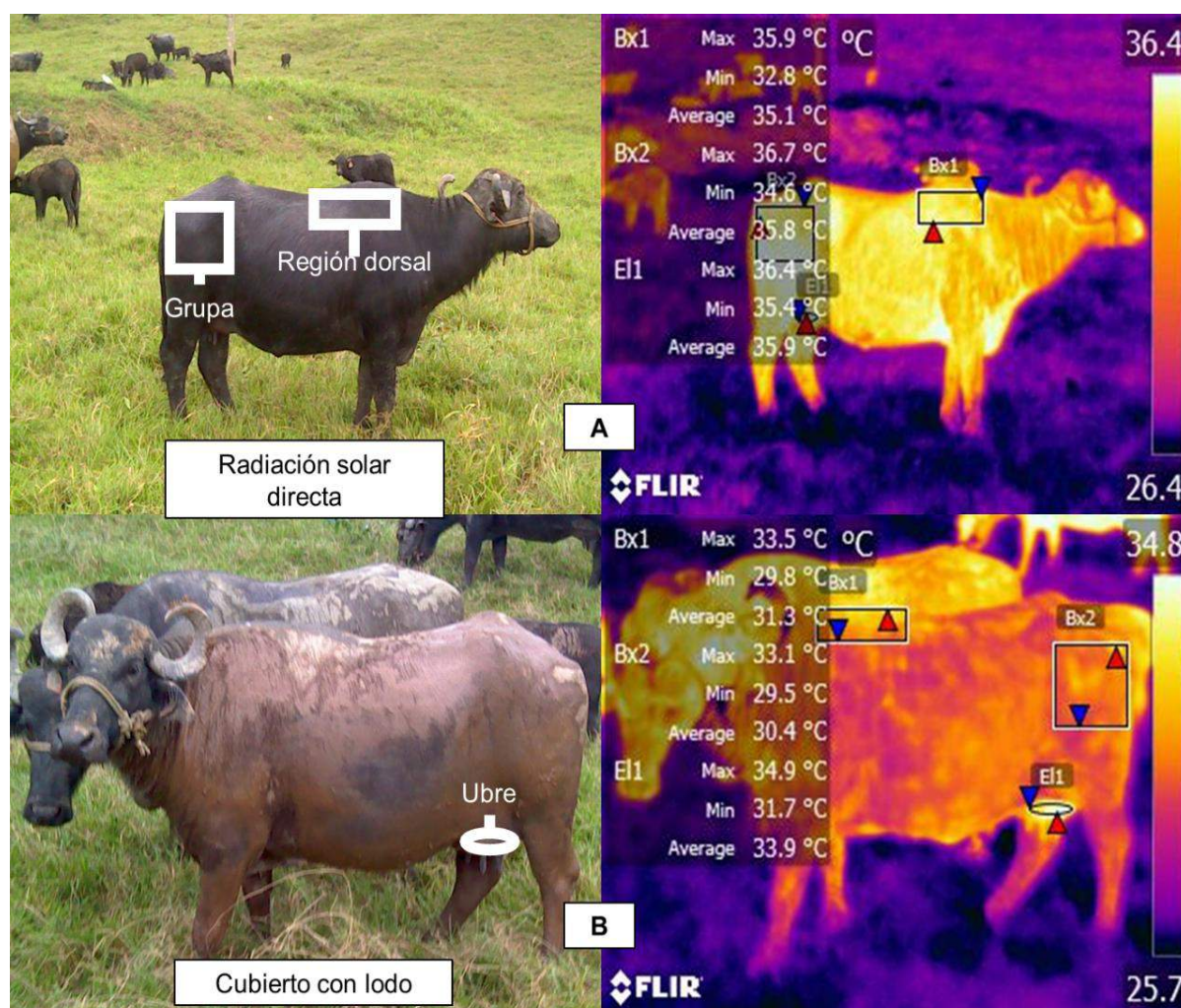


Figura 2. Cambios en la microcirculación dérmica del búfalo de agua expuesto a la radiación solar (A) y después de sumergirse en lodo (B). A) Por efecto de la radiación solar la búfala presenta áreas con un color blanquecino que indican las zonas con mayor temperatura. Mientras la región dorsal (Bx1) presenta una temperatura máxima de 35.9°C, la grupa (Bx2) y la ubre (El1) registran una temperatura máxima de 36.7 y 36.4°C, respectivamente, lo que sugiere que es en estas dos regiones donde se evidencia la respuesta de vasodilatación periférica. B) El 80% de la superficie corporal presenta una coloración rojiza que esquematiza una disminución en la temperatura. Comparando con las temperaturas máximas registradas durante la exposición al sol, se advierte que todas las regiones evaluadas presentaron un descenso en la temperatura. En la ubre este descenso fue de 1.5°C, mientras que en la región dorsal fue de 2.4°C; sin embargo, fue en la grupa donde la temperatura máxima descendió de forma más drástica (3.6°C) por efecto del lodo. De esta forma, se demuestra que el lodo además de brindar protección frente a los rayos solares también contribuye en la pérdida de calor por evaporación (Mota-Rojas et al., 2020).

Glándula mamaria

En cuanto a la producción láctea, existen diferencias anatomofisiológicas entre las vacas y las búfalas. La glándula mamaria de ambas especies se posiciona en la zona inguinal y se componen por dos pares de mamas que están cercanas unas de otras formando un complejo mamario o ubre (Bradley, 2014). La cisterna, ubicada en la parte ventral de la glándula sirve como almacenamiento de leche y permite sintetizar diversas cantidades de leche en dependencia de su tamaño (Bradley, 2014). La ubre de la búfala almacena en el compartimiento alveolar del 92 al 95% de la leche y el resto en la cisterna (5%) de la leche, en contraste, las vacas acumulan en la cisterna el 20% de leche. La fracción de leche cisternal está disponible para el ordeño o el amamantamiento de la cría antes de que las células mioepiteliales se contraigan como respuesta a la acción de la oxitocina para que ocurra la eyección láctea (Thomas et al., 2004; Espinosa et al., 2011b). La leche alveolar, sin embargo, está disponible solamente si es eyectada activamente (Espinosa et al., 2011b).

Las vacas lecheras a diferencia de las búfalas han mostrado mayor desarrollo en el complejo mamario, que les ha permitido sintetizar grandes cantidades de leche. Además, es el tejido conjuntivo elástico originado a partir de la túnica abdominal, conocido como sistema suspensorio, el que permite soportar la cantidad de leche que se produce en la glándula mamaria (Bradley, 2014), aunque la búfala

lechera con menor producción de leche presenta un ligamento suspensorio con menor desarrollo en contraste con la vaca lechera.

Un rasgo suplementario radica en la morfobiometría de los pezones. De acuerdo con Espinosa et al. (2011a), que analizaron búfalas de diferentes razas, mostraron que la mayoría presentaba pezones cónicos (56.46%) y la longitud media de 6.90 cm; por otro lado, Riera-Nieves et al. (2006) estudiaron a bovinos lecheros Holstein, entre los cuales predominaron pezones en forma de cilindro (48.30%) y con una longitud de pezones media de 5,90 cm.

El pezón con mayor longitud y grosor además canal más estrecho y un esfínter más cerrado es típico del búfalo, lo que favorece una menor predisposición a la mastitis (Thomas et al., 2004; Espinosa et al., 2011a).

La vaca lechera, gracias al intenso proceso de selección genética, actualmente presenta características fisiológicas y anatómicas que le permiten producir mayor cantidad de leche que la búfala lechera. El ligamento suspensorio y la cisterna con mayor desarrollo posibilita sintetizar, transportar y almacenar grandes cantidades de leche; además, la forma y tamaño de los pezones facilita el recurso de máquinas para procesos de ordeño mecánicos convencionales y robotizados. Por otro lado, la búfala lechera presenta mayor resistencia a microorganismos que pudieran predisponer a mastitis y aunque la cantidad de leche es menor que la de las vacas lecheras, la

calidad composicional es mayor en componentes de importancia económica, industrial y sanitaria.

Aloamamantamiento

Se entiende por Aloamamantamiento, al amamantamiento de crías ajenas o extrañas (Roulin y Heeb, 1999). Esta conducta ha sido reportada con frecuencia en cerdas lactantes (Špinka, 2006), renos (Engelhardt et al, 2016), bovinos convencionales, ovinos, ciervos y búfalos de agua, entre otros (Víchová y Bartoš, 2005) (**Figura 3**). En general existen registros de 82 especies de mamíferos que amamantan a crías ajenas. Se han estudiado varias hipótesis sobre las causas y consecuencias de este comportamiento, entre ellas, Roulin (2003) postula que las hembras que permiten la lactancia de las crías ajenas se benefician porque podrían aumentar o mantener la concentración de prolactina cuando su propia descendencia no estimula suficientemente los pezones durante la succión, lo cual podría mejorar la inmunidad de las madres y elevar su resistencia contra microorganismos patógenos.

Este comportamiento ha sido observado tanto en las crías de búfalo, como en ganado convencional (Mora-Medina et al., (2018). Víchová y Bartoš (2005), y se ha descubierto que el aloamamantamiento en crías de ganado doméstico podría ser una conducta compensatoria en caso de bajo peso al nacimiento o para contrarrestar deficiencias nutricionales. En su estudio, además mostraron una mayor frecuencia de aloamamantamiento en crías hembras y crías de razas de carne en

comparación con machos y crías provenientes de cruzamiento de razas.

También se ha observado que conforme la edad de la cría se incrementa el aloamamantamiento disminuye; sin embargo, en el estudio llevado a cabo por Paranhos da Costa et al. (2006), no apreciaron aloamamantamiento como un comportamiento en dos crías (*Bos indicus*): Nelore y Gyr y una cría mestiza (*Bos taurus*): la raza Caracu que son criadas con pastos desde el nacimiento.

En cuanto al búfalo, al igual que en *Bos taurus*, se ha reportado que el aloamamantamiento puede ejecutarse como consecuencia de una nutrición insuficiente de la cría (Murphey et al., 1995; Paranhos da Costa et al., 2000).

Durante muchos años se planteó que el aloamamantamiento resultaba una conducta costosa, además del riesgo que presentaba, no sólo por la posible agresión de la madre hacia la cría ajena al intentar ingerir leche (Roullin, 2003), sino por la transmisión de microorganismos patógenos a través de la leche, como es el caso de enfermedad de Johne, ya que el aloamamantamiento y la crianza comunal se consideran factores de riesgo para la paratuberculosis en búfalos (Dalto et al., 2012). El amamantamiento comunal también denota consecuencias positivas, como incrementar la inmunidad en las

crías por la ingestión de anticuerpos procedentes de una madre no biológica.

Cabe señalar que en el seguimiento de los búfalos realizado durante 10 meses, Andriolo et al., (2001) demostraron que cuando se permite la lactancia materna a crías ajenas, las madres no descuidan a su propia descendencia. Además, determinaron que permitir a las crías el comportamiento de aloamamantamiento depende más de la tolerancia individual que del comportamiento grupal de las madres durante el periodo de lactancia. Por ello, el aloamamantamiento tiene un componente individual que refuerza los intentos de amamantamiento entre los becerros.



Figura 3. Cría comunal con aloamamantamiento

Una conducta muy frecuente en búfalas es aceptar pasivamente el amamantamiento de becerros de otras hembras. Esta conducta se asocia a diferentes causas como: pérdida de la madre, baja producción de leche que no alcanza a cubrir los requerimientos nutricionales y, además, rechazo de la madre principalmente en hembras de primer parto. Aunque este comportamiento es considerado altruista (Napolitano et al., 2019), las búfalas dan prioridad a sus crías y después al fin comunitario; asimismo no todas poseen el temperamento de aceptar crías de otras hembras (De Gusmão, 2011; Mora-Medina et al., 2018).

Para mayores detalles de la impronta y el aloamamantamiento consulte el capítulo correspondiente o vaya a la sección de “Aspectos reproductivos”.

3. SISTEMA INMUNE Y RESISTENCIA A ENFERMEDADES

La selección de especies o razas resistentes a las enfermedades en las unidades productivas es una constante a nivel mundial con el objetivo de mejorar la salud, el bienestar y la productividad animal (Stear et al., 2001). Los criadores de ganado prestan una atención creciente a esta cuestión debido a las pérdidas económicas que han supuesto las enfermedades por sí mismas, su tratamiento e inclusive, debido al deshecho de animales que no alcanzan los parámetros productivos o reproductivos esperados, debido a las condiciones subclínicas

(Izquierdo et al., 2007; Frías et al., 2011). Por ello, resulta vital conocer qué tan resistentes o susceptibles son los búfalos y los bovinos domésticos a las enfermedades que con mayor frecuencia afectan a la industria pecuaria.

La prevalencia de enfermedades en el ganado suele redundar en pérdidas económicas importantes. El ganado convencional de las zonas tropicales está más expuesto a una elevada incidencia de enfermedades de las pezuñas, mastitis e infecciones ectoparasitarias, debido al exceso de humedad, a las altas temperaturas y a la abundancia de insectos y parásitos. Los búfalos de agua, en cambio, manifiestan alta resistencia a este tipo de enfermedades porque sus hábitos y morfofisiología les confieren una baja susceptibilidad. Por ejemplo, en el búfalo de agua, a diferencia del bovino convencional, predominan hábitos termorreguladores de revolcarse en el lodo o sumergirse en zonas inundadas, lo cual interrumpe el ciclo y desarrollo de parásitos externos (Belmiro, 2006).

Mastitis

La salud de las ubres de los animales productores de leche reviste especial relevancia, no solo para el productor de lácteos sino también para los consumidores, quienes cada vez más se interesan en conocer cómo se garantiza el bienestar y salud de los animales que producen leche y sus derivados (Hogeveen et al, 2011). Sin embargo, en la

cadena de producción de lácteos en general, la mastitis en el ganado lechero y en el búfalo es una condición clínica frecuente que provoca pérdidas económicas significativas y se considera una de las mayores limitaciones para la industria láctea en todo el mundo (Mota-Rojas et al., 2019; El-Ashker et al., 2020). Se ha informado que el *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) es uno de los agentes causales más relevantes de esta afección y es responsable de la infección intramamaria contagiosa en los rebaños lecheros (Lozano et al., 2016). La bacteria provoca mastitis clínica y subclínica en ganado lechero y búfalo, y representa un riesgo de salud para los humanos (El-Ashker et al., 2020). En este último estudio, los autores detectaron el agente etiológico de la mastitis en el 34,12% (213/623) y el 9,64% (8/83) de las muestras de leche provenientes de cuartos de vacas y búfalas con síntomas clínicos de la enfermedad. Así, por ejemplo, de la investigación de El-Ashker et al. (2015), donde se analizaron muestras de leche bovinos Holstein-Friesian y búfalos Murrah, derivó un mayor número de muestras con *Staphylococcus aureus* en bovinos convencionales que en búfalos.

En un estudio que se enfocó en la detección de *Clostridium perfringens* entre búfala y ganado convencional, resultó una menor presencia del agente de mastitis con 9.6% y 34.1% y el de las muestras de leche provenientes de cuartos búfalas y de vacas, respectivamente (Osman et al., 2009), lo anterior coincidiendo con Motta-Giraldo et al. (2014),

que detectaron menor variedad de patológicas presentes en la búfala que en el bovino convencional.

Como se mostró previamente, la búfala lechera padece menores problemas de mastitis en comparación con vaca lechera, lo cual se atribuye a las diferencias morfofisiológicas de la búfala que funcionan como barreras que dificultan y/o impiden el acceso a los microorganismos causantes de mastitis como *Staphylococcus aureus* y *Clostridium perfringens*. Estos atributos conceden gran resistencia a la colonización de microorganismos; como lo son una mayor concentración de pigmentos de melanina, un canal del pezón con un epitelio de queratina de mayor espesor que el característico en vacas, así mismo la capa muscular del esfínter alrededor del canal del pezón más grueso, con más tono, más vasos sanguíneos y fibras nerviosas, además, el lumen del canal del pezón es más estrecho que el de las vacas lecheras (Sollecito et al., 2011; Espinosa et al., 2011b).

Ectoparásitos

En un estudio realizado por Ybañez et al. (2019), se identificaron diversos ectoparásitos en bovinos lecheros (Holstein) y búfalos de agua (Murrah). Se identificaron *Haematopinus spp* y *Rhipicephalus spp* (piojos y garrapatas respectivamente), especies conocidas como vectores potenciales de *Mycoplasma spp*. Se encontró que todos los

bovinos tenían garrapatas y una ausencia absoluta de piojos, por el contrario, los búfalos contenían piojos y solo uno registró presencia de garrapata. Esta diferencia puede explicarse por el comportamiento del búfalo de agua de revolcarse en el lodo y, también, por el mecanismo de supervivencia de los piojos (capacidad de cerrar orificios respiratorios bajo el agua).

El anterior concuerda con la investigación de Benítez (2012), quien implementó un ensayo de infestación con garrapatas *Rhipicephalus*, consideradas como el ectoparásito con el mayor impacto negativo a nivel mundial en ganado domestico; utilizó un bubillo de raza Mediterránea y un novillo de raza Holstein en las mismas condiciones ambientales y de edad. Sus hallazgos indicaron que la cantidad de garrapatas de cada animal fue de 5.4% y 12% de las larvas iniciales lo cual indica que el grado de resistencia a la infestación corresponde a un 94% para el búfalo y a 88% para el bovino.

También se mostró una marcada reacción inflamatoria en el área con adherencia de garrapatas en el búfalo, característica no presentada en el bovino, lo que se debe a que el sistema inmune del búfalo parece ser más reactivo a los componentes alergénicos de la saliva de la garrapata *Rhipicephalus* (Benítez, 2012). Además, otra posible explicación podría residir en que la piel gruesa del búfalo, en comparación con los bovinos, mina la capacidad de las garrapatas para adherir su hipóstoma.

Patologías reproductivas

Motta-Giraldo et al. (2014) llevaron a cabo un estudio donde se identificaron patologías reproductivas de búfalas raza bufalipso y vacas Holstein Friesian bajo dos sistemas de producción (simple y mixto). La prevalencia en hatos mixtos fue de 15.5% en búfalas y de 55.8% en vacas mientras que en hatos simples de 24.4% y 46.7%, respectivamente, ambos con diferencias significativas entre las especies; además, las vacas presentaron mayor número de patologías reproductivas que las búfalas. También se estimaron indicadores zootécnicos y las búfalas presentaron un mejor desempeño reproductivo que las vacas, expresado en mayor tasa de natalidad (84% búfalos vs. 72% bovinos), menor intervalo entre partos y días abiertos, al igual que la edad al primer parto en la que las búfalas fueron más precoces (34.8 meses) que las vacas (38.59 meses); lo anterior, independientemente del tipo de sistema de producción, aunque fue mucho más marcado en los hatos mixtos que en los simples (Motta-Giraldo et al., 2014).

Cojeras

Las enfermedades podales es otro de los padecimientos principales en vacas lecheras, después de la mastitis, generando cuantiosas pérdidas económicas en las unidades de producción pecuaria de bovinos. En Estados Unidos, se estimaron pérdidas que rondan los 21 US dólares

por vaca. Sus principales consecuencias directas fueron disminución de la productividad, alto costo de los tratamientos y contracción de la condición corporal; sin contabilizar los costos por eliminación de animales y las pérdidas de leche y sus derivados por los metabolitos de los fármacos terapéuticos utilizados, entre otros (García-Bracho et al., 2009). En contraste, los búfalos parecen más resistentes a este tipo de problemas, tal como lo demostró De Rosa et al. (2009) en un estudio instrumentado en 42 ranchos de búfalos, constatando que las enfermedades podales que derivan en cojera estaban prácticamente ausentes en los animales.

La cojera es un problema mayor que interfiere en el bienestar en el ganado lechero, que a menudo se asocia con dolor e incomodidad de larga duración, sin embargo, la baja frecuencia de cojeras en búfalos puede atribuirse primero a sus características morfológicas. En efecto y como se había expuesto previamente, los búfalos poseen grandes pezuñas, corvejones elásticos y extremidades más gruesas que les permiten moverse en terrenos fangosos, poco uniformes y sumergirse por amplios lapsos de tiempo en el agua (Barboza, 2011). Otro argumento radica en que los búfalos se benefician de un régimen de alimentación bajo en concentrados (Napolitano et al., 2013), en comparación con lo que sucede en vacas lecheras, ya que se ha constatado que dietas con bajo contenido de fibra (< 18%) y con un alto porcentaje de carbohidratos y proteínas, podrían inducir la laminitis y claudicación en vacas lecheras (Weaver, 1993). Cabe agregar otra explicación que favorece la resistencia a laminitis y

claudicaciones en el búfalo, la cual estaría asociada con diferencias en el propio metabolismo en comparación con el ganado convencional (Napolitano et al., 2013).

4. NIVEL DE PRODUCCIÓN LÁCTEA DE ACUERDO CON EL SISTEMA PRODUCTIVO

Es importante enfatizar que los búfalos actualmente aportan el 13 por ciento de la producción mundial de leche (Napolitano et al., 2018; Napolitano et al., 2019a,b), aunque su contribución en las Américas sigue siendo marginal, debido a su reciente introducción y a la lenta respuesta de los productores (Bertoni et al., 2019a,b). En zonas tropicales principalmente, las unidades de producción de búfalos tienen un doble objetivo: producir leche y carne simultáneamente y en zonas templadas generalmente se especializan en producir alguno de estos dos productos (Mitat, 2011).

La vaca lechera, a diferencia de la búfala lechera, ha estado inmersa en un intenso proceso de selección genética, lo cual le permite sintetizar mayores volúmenes de leche, sin embargo, la leche de búfala alcanza mayor calidad composicional. En Italia las búfalas mediterráneas mantienen lactancias promedio de 270 días con 2,462 kg/lactancia mientras que las vacas lecheras Holstein aumentan a lactancias promedio de 305 con 9,690kg/lactancia (AIA, 2018), aunque con curvas de producción diferenciadas (**Figura 4**).

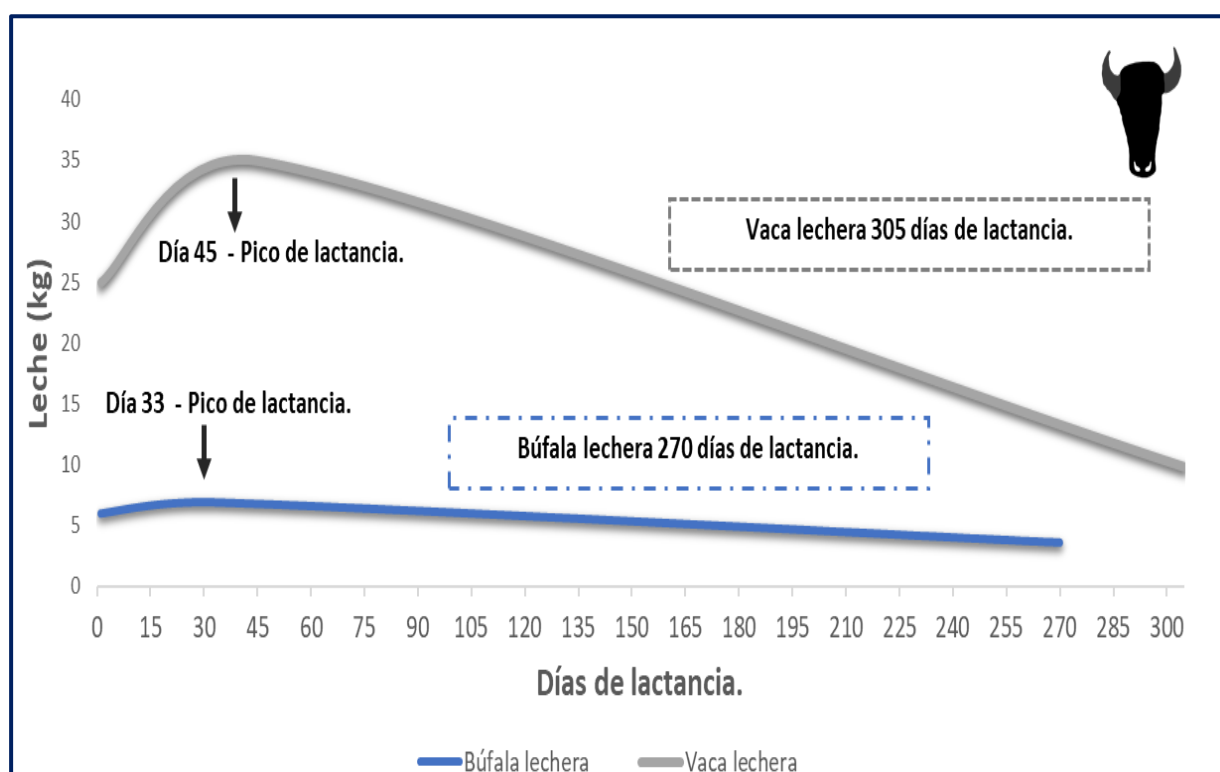


Figura 4. Lactancias de la búfala lechera mediterránea Vs. vaca Holstein. La búfala lechera muestra menor producción de leche diaria y lactancias más reducidas, debido a que la vaca lechera presenta un complejo mamario con mayor desarrollo que le permite sintetizar y almacenar mayor volumen de leche; no obstante, la calidad composicional favorece a la leche de búfala (Espinosa et al., 2011b).

Tanto con las búfalas como con vacas lecheras se han adoptado diferentes sistemas de producción, los más comunes son los intensivos, semi-intensivos y extensivos. Los primeros predominan en zonas templadas y los extensivos y semi-intensivos son más frecuentes en las zonas tropicales, principalmente bajo los denominados sistemas de doble propósito.

Las características que sustentan la diferenciación de estos sistemas residen en el aprovechamiento de la tierra, nivel tecnológico, orientación zootécnica, razas y canales comerciales (Arriaga et al.,

2002; Espinoza et al., 2007; Tinoco et al., 2012). Los búfalos de agua, debido a que presentan características que les confieren rusticidad, generalmente se asociaban a regiones tropicales con zonas inundables, altas temperaturas, humedad y forrajes de mediana y baja calidad nutricional (Mitat, 2011), no obstante, los sistemas de producción de búfalo han evolucionado con cierta rapidez, a tal grado que se aprecia una gran variedad, de acuerdo con la región del mundo en donde se hayan instaurado las fincas de búfalo (De Rosa et al., 2009)

Sistemas intensivos

Las razas de vacunos especializadas en leche tienen mayor presencia en climas templados, bajo sistemas estabulados o confinados la mayor parte del tiempo, menor densidad animal/unidad de superficie y recurrente suplementación nutricional que permite alcanzar altos rendimientos, pero también altos costos de producción (De Rosa et al., 2009), no obstante, existen bovinos convencionales del género *Bos* en zonas tropicales, que se distinguen por derivar de cruzamientos entre *Bos taurus* y *Bos indicus*, buscando resistencia a las condiciones climáticas tropicales, a la infestación de garrapatas y, de manera simultánea, favoreciendo la producción de leche (Romero y Pérez, 2014) (**Figura 5**).

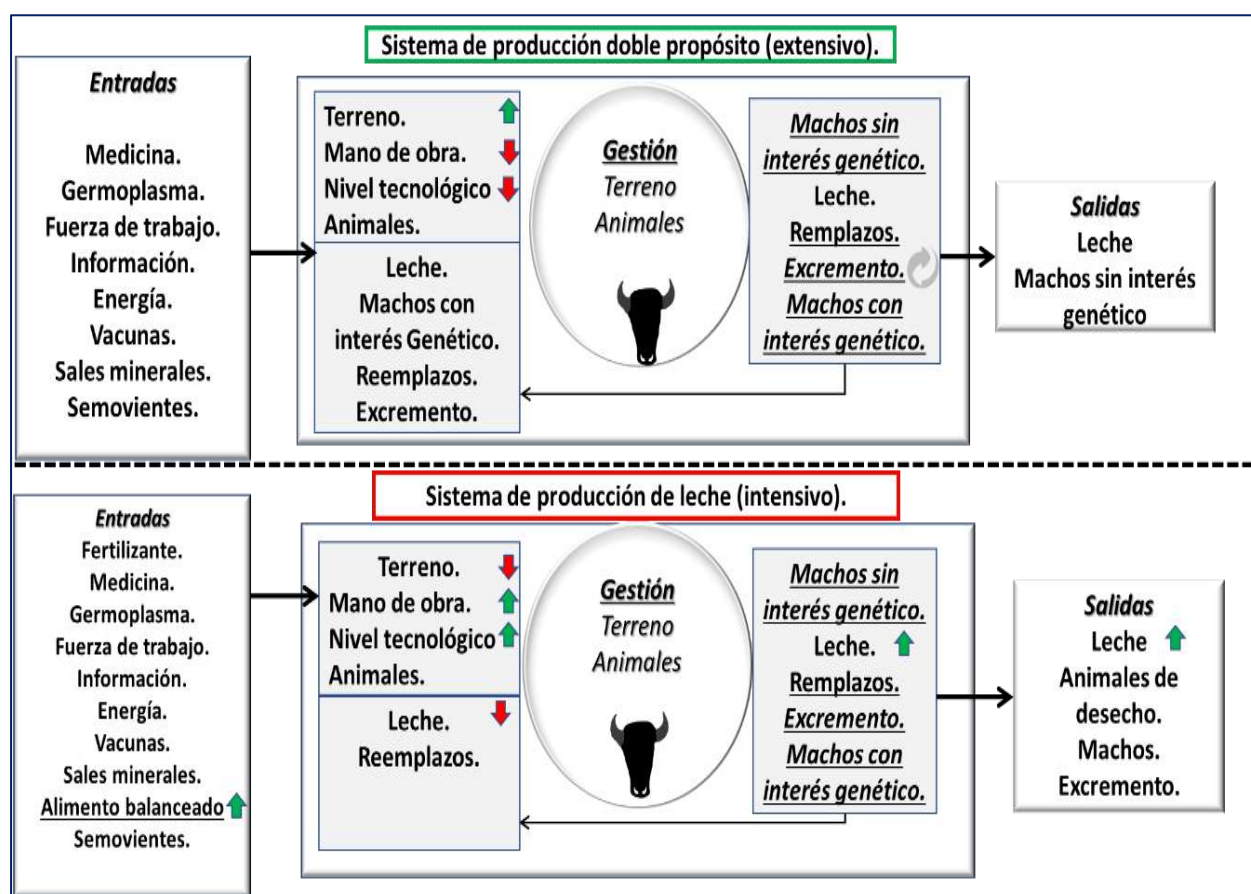


Figura 5. Sistemas extensivos *versus* extensivos

A. Los sistemas de producción extensivos (SPE) priorizan el aprovechamiento de la superficie disponible, con baja composición de fuerza de trabajo e incorporación de tecnología. Se suelen desarrollar en zonas con disponibilidad de agostaderos, como las tropicales y, por ende, se asocian a una oferta forrajera abundante, permitiendo baja dependencia de insumos externos. Inicialmente el búfalo se relacionaba solo a este nivel de producción. **B.** Los sistemas intensivos (SPI) al contrario de los SPE se vinculan con superficies acotadas, con alta inversión en fuerza de trabajo y en tecnología. En ese contexto, SPI se asocian a grandes volúmenes de producción y amplio uso de insumos externos, relacionados con elevados costos de producción por unidad animal. Los SPI se han expandido principalmente en unidades lecheras especializadas con vacas y, recientemente, se están incorporando los búfalos de agua.

Sistemas extensivos

De igual forma, los búfalos de agua se han mayormente desarrollado en climas tropicales con doble fin zootécnico (producción de leche y carne), sin embargo, de igual forma han sido adaptados en climas templados con niveles de intensificación similares a razas especializadas en producción de leche (López et al., 2008). Originalmente estos sistemas se desarrollan con base en pastos nativos e inducidos como principal alimento y con suplementación mínima (Rojo et al., 2009; García-Martínez et al., 2015) (**Figura 6 y 7**).



Figura 6. Tipos de sistemas de producción de búfalo según el fin zootécnico. A. Sistema de producción láctea intensificado, separación de la cría días después del parto. **B.** Sistema de producción de carne basado en pastoreo (extensivo), el total de leche es destinado al becerro. **C.** Sistema de producción semi-intensivo de doble propósito, producción de leche y carne, los becerros solo acceden al amamantamiento después del ordeño.



Figura 7. Importancia del becerro en la eyección de leche. La bajada de la leche puede ser provocada por diferentes estímulos que facilitan el vaciado de la glándula mamaria. El uso del becerro es frecuente como estímulo sensorial táctil (Espinosa et al., 2011), el cual es transportando a lo largo medula espinal hasta el hipotálamo, neurohipófisis donde se sintetiza y libera oxitocina que induce la contracción de las células mioepiteliales que rodean los alveolos provocando la eyección de leche (Bradley, 2014).

El complejo mamario de la búfala y la vaca lechera presenta diferencias anatómicas; no obstante, con el uso del estímulo sensorial de la cría y la aplicación de oxitocina exógena se obtienen respuestas fisiológicas similares en las dos especies (Espinosa et al., 2011).

Queda mucho por aprender sobre el búfalo de agua en todos los aspectos de la producción y el potencial de la especie para generar productos que puedan insertarse en los mercados de leche, carne y sus derivados (Mitat 2011; Mota-Rojas et al., 2019). Por lo tanto, resulta crucial documentar las ventajas y desafíos que presenta esta especie, ya que estos datos podrían jugar un papel clave para convencer a los funcionarios sobre promover la cría de búfalos y

motivar a los ganaderos para que consideren esta especie dentro de sus actividades prioritarias (Napolitano et al., 2020). El sector académico también tiene una responsabilidad relevante en la investigación y difusión de información que aporten opciones para el desarrollo del búfalo de agua como una posible fuente alternativa de ingresos y una opción para apoyar el desarrollo de las regiones tropicales donde esta especie tiene especial potencial, pero a la fecha está recibiendo escasa atención (López, 2013).

5. PERSPECTIVAS

La cada vez más elevada y exigente demanda de alimentos exige indagar sobre alternativas de productos que diversifiquen y complementen la dieta y el consumo humano. Aunado a ello, se requiere fomentar formas de producción que sean más eficientes y sustentables en comparación con los esquemas tradicionales.

Es por ello, que la mayoría de los estudios disponibles apuntan a que la introducción del búfalo de agua es una opción con altas posibilidades de desarrollo, dado que se trata de un animal de triple propósito (carne, leche y trabajo), sin embargo, para que ello sea factible, resulta vital profundizar en las características de estos animales para afinar el conocimiento sobre sus particularidades, ventajas y desventajas y una vez, adquirido el conocimiento, ponderar si es posible que los búfalos complementen o sustituyan a las tradicionales especies productivas domésticas.

Muchos son los tópicos sobre los que se tiene que investigar aún sobre los búfalos para evitar repetir rutinas aplicadas a los vacunos y que, como se ha mostrado en esta revisión, no siempre son pertinentes. En cambio, estas investigaciones son básicas para poder implementar condiciones que garanticen bienestar y productividad y diseñar modelos de crianza del búfalo que puedan reducir el impacto ambiental de los sistemas tradicionales de producción,

De igual forma es importante profundizar en los aspectos biológicos asociados con la salud de los animales y dar respuesta a preguntas tales como cuáles son los factores de riesgo en el búfalo que propician su susceptibilidad frente a ciertos agentes por ejemplo las garrapatas en el trópico o agentes causantes de infecciones. Sin embargo, para emprender la sustitución de los bovinos domésticos tradicionales por búfalos en una unidad de producción determinada, también se requiere la incorporación de las evaluaciones económicas para determinar en diferentes contextos la viabilidad económica de esta especie.

CONSIDERACIONES FINALES

Como se ha podido constatar a lo largo de esta contribución, aunque búfalos y bovinos domésticos pertenecen a la misma familia Bovidae y en primera instancia parecieran similares, ahondar en el conocimiento de las diferencias anatómicas, fisiológicas y comportamentales entre

Bos taurus, *Bos indicus* con los búfalos de agua favorecería afinar prácticas como las siguientes:

1. Seleccionar a la especie animal que mejor responda a las condiciones ambientales, económicas y sociales en cada región, determinando alguna orientación que cumpla con las necesidades del productor y su familia, así como con las demandas del mercado, entre leche, carne o trabajo o la combinación entre dos o tres de ellas.
2. Adaptar las instalaciones y equipo en las unidades productivas, así como adoptar y/o desarrollar tecnologías apropiadas en la rutina del ordeño acordes con las características y la conformación anatómica de los búfalos, en lugar de ocupar las mismas sin la más mínima adaptación de los mismos equipos utilizados para vacas lecheras.
3. Reflexionar sobre las implicaciones técnicas, financieras y ecológicas antes de seguir la ruta de la alta especialización productiva de ganado lechero convencional, que ha conllevado una mayor predisposición a padecer y dispersar enfermedades infecciosas y metabólicas, mayores costos energéticos y económicos, menor bienestar animal y crecientes gradientes de contaminación en comparación con la rusticidad del búfalo de río en sistemas tradicionales en los que se incorporen innovaciones que preserven su racionalidad y sustentabilidad en el largo plazo.
4. Este abordaje integral requiere de un trabajo multi e interdisciplinario, que permitiría delinear estrategias productivas

globales que no comprometan ni el bienestar de los animales ni la salud de los consumidores.

REFERENCIAS

- Abdelatif, A.M., Alameen, A.O., 2012. Influence of season and pregnancy on thermoregulation and haematological profile in crossbred dairy cows in tropical environment. *Glob Vet.* 9, 334-340. <https://doi.org/10.5829/idosi.gv.2012.9.3.65130>
- Ablas, D.D.S., Titto, E.A.L., Pereira, A.M.F., Titto, C.G., Leme, T.D.C., 2007. Behaviour of grazing water buffaloes depending on the availability of shade and water for imersion. *Ciênc. Anim. Bras.* 8, 167-176. <https://doi.org/10.5216/cab.v8i2.1339>
- AIA- Associazione Italiana Allevatori (Asociación Italiana de Criadores), 2018. Controles Oficiales de productividad de la leche en Italia. http://bollettino.aia.it/Contenuti.aspx?CD_GruppoStampe=TB&CD_Specie=C4 (accessed 18 February 2020)
- Andriolo, A., Paranhos Da Costa, M.J.R., Schmidek, W.R., 2001. Suckling behaviour in water buffalo (*Bubalus bubalis*): development and individual differences. *Rev. Etología.* 3, 129-136.
- Angulo, R.A., Noguera, R.R., Berdugo, J.A., 2005. The water buffalo (*Bubalus bubalis*) an efficient user of nutrients; aspects on fermentation and ruminal digestion. *Livest. Res. Rural Dev.* 17(6).

- Ann, C., George, P.S., 2014. Teaching in an High Authentic Ability Middle Learners. J. Anim. Sci. 35, 7–11.
<https://doi.org/10.2527/jas2013-6583>
- Arriaga J.C.M., Albarrán P.B., Espinoza A., García M. A., Castelán O.A., 2002. On-farm comparison of feeding strategies based on forages for small-scale dairy production systems in the highlands of central Mexico. Exp. Agric. 38, 375-388.
<https://doi.org/10.1017/S0014479702000418>
- Barboza, J.G., 2011. Bondades ecológicas del búfalo de agua: camino hacia la certificación. Rev. Tecnol. Marcha. 24(5), 82.
- Belmiro, E., 2006. Explotación ecológica del Búfalo, in: Segundo Simposio de Búfalos, Europa-América.
- Benitez, D., Cetrá, B., Florin-Christensen, M., 2012. Rhipicephalus (Boophilus) microplus ticks can complete their life cycle on the water buffalo (*Bubalus bubalis*). J. Buffalo Sci. 1, 193-197.
<https://doi.org/10.6000/1927-520X.2012.01.02.11>
- Berdugo-Gutiérrez, J., Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Nava, J., Ruíz-Buitrago, J.D., González-López, C., Guerrero-Legarreta, I., 2019. Heat stress in river buffalo. Rev. Entorno Ganadero. 15, 26-36.
- Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Morales, A., Orozco, C.C., Mota-Rojas, D., 2019a. Capítulo 7. Los sistemas de producción de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.

- Bertoni, A., Álvarez, A., Mota-Rojas, D., 2019b. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 19 (38), 59-80.
- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J., Legarreta, I.G.-, 2020a. Similarities and Differences between River Buffaloes and Cattle : Health , Physiological , Behavioral and Productivity Aspects 92–109.
- Bertoni, A., Mota-Rojas, D.; Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I. et al. 2020b. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 8:288-297. doi.org/10.31893/jabb.20038
- Blackshaw, J.K., Blackshaw, A.W., 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. *Aust. J. Exp. Agric.* 34, 285-95.
- Bradley, G., 2014. Aspectos anatómicos de la glándula mamaria, in: Bradley, G. (Ed.), *Fisiología Veterinaria*. Elsevier Saunders, España, pp. 439-450.
- Carvalho, N., Gimenes, L., Reis, E.L., Cavalcante, A.K., Mello, J.E., Nichi, M., Nicacio, A., Nasser, L.F.T., Rezende, L.F.C., Wisnesck, C.A., Moura, C.E.B., Benedicto, H.B., Bombonato, P.P., Baruselli, P., 2010. Biometry of genital system from buffalo (Murrah) and bovine (Nelore) females. *Rev. Vet.* 21, 276-279.

- Casas-Alvarado, A., Mota-Rojas, D., Hernández-Ávalos, I., Mora-Medina, P., Olmos-Hernández, A., Verduzco-Mendoza, A., Martínez-Burnes, J., 2019. Advances in infrared thermography: surgical aspects, vascular changes and pain monitoring in veterinary medicine. *J. Therm. Biol.* (In review).
- Crudeli, G., 2011. Fisiología reproductiva del búfalo. *Rev. Tecnol. Marcha*. 24(5), 74-81.
- Crudeli, G.A., Konrad, J.L., Pariño, E.M., 2016. Reproducción en búfalas, first ed. Moglia, Argentina.
- Cruz-Monterrosa, R.G., Mota-Rojas, D., Ramírez-Bribiesca, E., Mora-Medina P., Guerrero-Legarreta I., 2020. Scientific findings on the quality of river buffalo meat and it's prospects for future studies. *J. Buffalo Sci.* 9, 170-180. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.18>
- Dalto, A.C., Bandarra, P.M., Pavarini, S.P., Boabaid, F.M., De Bitencourt, A.P.G., Gomes, M.P., Chies, J., Driemeier, D., Da Cruz, C.E.F., 2012. Clinical and pathological insights into Johne's disease in buffaloes. *Trop. Anim. Health Pro.* 44, 1899-1904. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0154-9>
- De Rosa, G., Grasso, F., Pacelli, C., Napolitano, F., Winckler, C., 2009. The welfare of dairy buffalo. *Ital. J. Anim. Sci.* 8, 103-116. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s1.103>
- Di Palo, R., Ariota, B., Zicarelli, F., De Blasi, M., Zicarelli, G., Gasparrini, B., 2009. Incidence of pregnancy failures in buffaloes with

- different rearing system. Ital. J. Anim. Sci. 8(2), 619-621.
<https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s2.619>
- El-Ashker, M., Gwida, M., Monecke, S., El-Gohary, F., Ehricht, R., Elsayed, M., Paul, A., El-Fateh, M., Maurischat, S., 2020. Antimicrobial resistance pattern and virulence profile of *S. aureus* isolated from household cattle and buffalo with mastitis in Egypt. Vet Microbiol. 240, 108535.
<https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2019.108535>
- El-Ashker, M., Gwida, M., Tomaso, H., Monecke, S., Ehricht, R., El-Gohary, F., Hotze, H., 2015. *Staphylococci* in cattle and buffaloes with mastitis in Dakahlia Governorate, Egypt. J. Dairy Sci. 98, 7450-7459. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9432>
- Engelhardt, S.C., Weladji, R.B., Holand, Ø., Røed, K.H., Nieminen, M., 2016. Allonursing in reindeer, Rangifer tarandus: a test of the kin-selection hypothesis. J Mammal. 97, 689-700.
<https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw027>
- Espinosa, Y., Ponce, P., Capdevila, J., 2011b. Efecto de la estimulación con bucerro, oxitocina y manual sobre los indicadores de ordeño en búfalas. Rev. Salud Anim. 33, 90-6.
- Espinosa, Y., Ponce, P., Capdevila-Valera, J., Riera-Nieves, M., Nieves-Crespo, L., 2011a. Morfobiometría de la ubre en búfalas lecheras en rebaños del occidente de Cuba. Rev. Científica FCV-LUZ. 21, 533-538.
- Espinoza O. A., Espinosa, E., Bastida, L.J., Castañeda M. T., Arriaga C.M., 2007. Small-scale dairy farming in the highlands of

- central Mexico: Technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Exp. Agric.* 43, 41-256. <https://doi.org/10.1017/S0014479706004613>
- Frias, M., Landi, H., Montes, D., Parodi, F.P., 2011. Análisis comparativo de la salud y costo en el período vaca parida en rodeos lecheros. *InVet.* 13, 17-23.
- García M. A., Albarrán P.B., Avilés N. F., 2015. Dinámicas y tendencias de la ganadería doble propósito en el sur del Estado de México. *Agrociencia.* 49, 125-39.
- García, A.R., Matos, L.B., Júnior, L., De Brito, J., Nahúm, B.D.S., Araújo, C.V.D., Santos, A.X., 2011. Physiological features of dairy buffaloes raised under shade in silvipastoral systems. *Pesq. Agropec. Bras.* 46, 1409-1414. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000039>.
- García-Bracho, D., Hahn, M., Pino, D., Vivas, I., Leal, M., Clerc, K., 2009. Prevención de enfermedades podales mediante el recorte funcional de la pezuña al momento del secado en vacas lecheras confinadas en el trópico. *Rev. Científica FCV-LUZ.* 19, 147-152.
- Guerrero-Legarreta, I., García-Galicia, I., Ramírez-Bribiesca, R., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R., Olmos-Hernández, A., & Alarcón-Rojó, A. D., 2019b. Capítulo 21. Factores que afectan la calidad de la carne del búfalo de agua y bovino del género Bos. In: Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., &

Orihuela, A. (Ed.), El búfalo de agua en las Américas. México. BM Editores.

Guerrero-Legarreta, I., Rosmini, R., Mota-Rojas, D., Fernández-López, J., Cruz-Monterrosa, R., Pérez-Álvarez, J.A., 2019c. Capítulo 22. Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua. En: Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., & Orihuela, A. (Ed.), El búfalo de agua en las Américas. México. BM Editores.

Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Cruz-Monterrosa, R., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Ramírez-Bribiesca, E., Bertoni, A., Berdugo-Gutiérrez, J., & Braghieri, A., 2020a. River buffalo meat production and quality: sustainability, productivity, nutritional and sensory properties. J. Buffalo Sci. 9, 159-169. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.17>

Guerrero-Legarreta, I., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., 2020b. Capítulo 6. El búfalo de agua productor de carne por el mundo: indicadores productivos y sanitarios. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (192-224), Segunda edición. México, BM Editores.

Gutiérrez, V.A., Hurtado, L.N., Cerón-Muñoz, M., 2006. Estimativas de factores de corrección para duración de la lactancia, edad y época de parto en búfalas de la Costa Atlántica Colombiana. Liv. Res. Rur. Dev. 18(4).

- Hogeveen, H., Huijps, K., Lam, T.J.G.M., 2011. Economic aspects of mastitis: new developments. *New Zealand Vet. J.* 59, 16-23.
<https://doi.org/10.1080/00480169.2011.547165>
- Izquierdo, A.C., Campos, V.M.X., Jiménez, M.S.C., Jiménez, C.A.C., Guerra, J.E., 2007. Factores que predisponen a enfermedades causantes de abortos en vacas lecheras- una revisión. *Rev. Complutense Ciencias Vet.* 1, 7-21.
- Konrad, J., 2016. Inseminación Artificial, in Crudeli, G., Konrad, J.L., Patiño, E.M. (Eds.), *Reproducción en Búfalas*, Moglia, Argentina, pp. 175-182.
- López, A., 2013. Perspectivas de la crianza del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) en la Amazonía Ecuatoriana. *Rev. Amazon. Cienc. Tecnol.* 2(1), 19-30.
- Lozano, C., Gharsa, H., Ben Slama, K., Zarazaga, M., Torres, C., 2016. *Staphylococcus aureus* in animals and food: Methicillin resistance, prevalence and population structure. A review in the African continent. *Microorganisms.* 4, 12.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms4010012>
- Marai, I.F.M., Haebe, A.A.M., 2009. Buffalo's biological functions as affected by heat stress- A review. *Livest. Sci.* 127, 89-94.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.08.001>
- Mendes, A.J., Lima, F., 2011. Aspectos nutricionales del búfalo. *Tecnol. Marcha, SeDAFP y Universidad Popular de la Chontalpa.* 516: 105-120.

- Mitat, V.A., 2011. Antecedentes y perspectivas de la actividad bufalina en el trópico. *Rev. Tecnol. Marcha*. 24, 121.
- Mora-Medina, P., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Berdugo, J., Ruiz-Buitrago, J., Guerrero-Legarreta, I., 2018. Imprinting, Sucking and Allosucking Behaviors in Buffalo Calves. *J. Buffalo Sci*. 7, 43–48.
- Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I., Pérez-Álvarez J.A., Rosmini, M., Napolitano, F., Ghezzi, M., Fernández-López, J. Braghieri, A., Viuda, M., Bragaglio, A., & Mora-Medina, P., 2019a. Capítulo 1. La carne de búfalo de agua en las Américas: retos y oportunidades. En: Guerrero-Legarreta I, Napolitano F, Mota-Rojas D. & Orihuela A. (Ed.). *El búfalo de agua en las Américas* (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., & Guerrero-Legarreta, I. Napolitano F., 2019b. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 14(035).
<https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>
- Mota-Rojas, D., Álvarez, A., Bertoni, A. Molina S., José, N., López, G., Mora, P., Guerrero, I., & Napolitano, F., 2019c. Capítulo 8. La importancia de los animales en labores rurales: tracción, transporte y carga. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). *El búfalo de agua en las Américas* (2da. Eds.). México. BM Editores.

- Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Napolitano, F., Serrapica, F., De Rosa G. et al. 2019d. Capítulo 9. La búfala de agua durante el parto y ordeño: respuestas fisiológicas y conductuales. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 154-191), Segunda edición. México, BM Editores.
- Mota-Rojas, D. Napolitano, F., Sarubbi, J., Braghieri, A., Martínez-Burnes, J., Bertoni, A., Ghezzi, D. et al. 2019e. Capítulo 16. Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja” en Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 512-538), Segunda edición. México, BM Editores.
- Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A., Martínez-Burnes, J., Álvarez-Macías, A., Orihuela, A., 2020a. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. J. Anim. Behav. Biometeorol. 9,2103. <https://doi.org/10.31893/jabb.21003>
- Motta-Giraldo, J.L., Waltero-García, I., Abeledo-García, M.A., Miranda, I., Campos-Pipaon, R., 2014. Main reproductive disorders in buffaloes and cows in mixed herds and of one species in the department of Caquetá, Colombia. Rev. Med. Vet. Zoot. 61, 228-240. <http://dx.doi.org/10.15446/rfmvz.v61n3.46870>

- Mozo, J., Emre, Y., Bouillaud, F., Ricquier, D., Criscuolo, F., 2005. Thermoregulation: what role for UCPs in mammals and birds?. Biosci. Rep. 25, 227-49. <https://doi.org/10.1007/s10540-005-2887-4>
- Murphey, R.M., Paranhos da Costa, M.J.R., Gomes da Silva, R., De Souza, R., 1995. Allonursing in river buffalo, *Bubalis bubalis*: nepotism, incompetence, or thievery? Anim. Behav. 49, 1611–1616. [https://doi.org/10.1016/0003-3472\(95\)90083-7](https://doi.org/10.1016/0003-3472(95)90083-7)
- Napolitano, F., Pacelli, C., Grasso, F., Braghieri, A., De Rosa, G., 2013. The behaviour and welfare of buffaloes (*Bubalus bubalis*) in modern dairy enterprises. Animal. 7, 1704-1713. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001109>
- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Berdugo, G.J.A., González, L.M., Mora-Medina, P., Ruíz, B.J.D., Guerrero, L.I., 2018. Dairy buffalo welfare at labour. Electronic J. Ganaderia.com.
- Napolitano, F., Serrapica, F., Braghieri, A., Masucci, F., Sabia, E., De Rosa, G., 2019a. Human-Animal Interactions in Dairy Buffalo Farms. Animals. 9(5), 9- 246. <https://doi.org/10.3390/ani9050246>
- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J., Ruíz-Buitrago, J.D., Nava, J., Guerrero-Legarreta, I., 2019b. Dairy Buffalo welfare and productivity. Entorno Ganadero. 15, 38-48.
- Napolitano, F., Arney, D., Mota-Rojas, D., De Rosa, G., 2019c. Chapter 17- Reproductive Technologies and Animal Welfare, in:

- Presicce, G.A. (Ed.), Reproductive Technologies in Animals. Elsevier Press, Amsterdam, The Netherlands, pp. 275- 286. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817107-3.00017-5>
- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Braghieri, A., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Cruz-Monterrosa, R., De Rosa, G., 2020. Factores Productivos y su incidencia en el bienestar de la búfala lechera en sistemas de producción extensivos e intensivos. Soc. Rur. Prod. Med. Amb. 20, (40), 155-173.
- Osman, K.M., El-Enbaawy, M.I., Ezzeldeen, N.A., Hussein, H.M.G., 2008. Mastitis in dairy buffalo and cattle in Egypt due to *Clostridium perfringens*: Prevalence, incidence, risk factors and costs. Rev. Sci. Tech./ OIE. 28, 975-986. <https://doi.org/10.20506/rst.28.3.1936>
- Pant, H., Roy, A., 1970. Studies on the rumen microbial activity of buffalo and zebu cattle. Concentrations of micro-organisms and total and particulate nitrogen in the rumen liquor. Indian J. Anim. Sci. 40(6), 600-609.
- Paranhos Da Costa, M.J.R., Albuquerque, L.G., Eler, J.P., De Vasconcelos Silva, J.A.I., 2006. Suckling behaviour of Nelore, Gir and Caracu calves and their crosses. Appl. Anim. Behav. Sci. 101, 276-287. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.02.006>
- Paranhos da Costa, M.J.R., Simplicio de Oliveira, J.F., Schmidek, W.R., 2000. Suckling and Allosuckling in river buffalo calves and its relation with weight gain. Appl. Anim. Behav. Sci. 66, 1-10 [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(99\)00083-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00083-0)

- Paul, S.S., Lal, D., 2010. Nutrient requirements of buffaloes, first ed. Satish Serial Publishing House, New Delhi.
- Riera-Nieves, M., Rodríguez-Márquez, J.M., Perozo-Prieto, E., Rizzi, R., Pedron, O. 2006. Comparación de las características morfológicas de los pezones en tres razas lecheras. *Rev. Científica FCV-LUZ*. 16, 393-400.
- Rojo, R.R., Vázquez, A.J.F., Pérez, H.P., Mendoza, M.G.D., Salem, A.Z.M., Albarrán, B.P., González, R.A., Hernández, M.J., Rebollar, R.S., Cardoso, J.D., Dorantes, C.E.J., Gutiérrez, C., 2009. Dual purpose cattle production in Mexico. *Trop. Anim. Health. Prod.* 41, 715-721.
- Romero, S.D., Pérez de León, A.A., 2014. Bubalinocultura en México: retos de industria pecuaria naciente. *Logros y Desafíos de la Ganadería Doble Propósito*. 6, 15.
- Roulin, A., 2003. The Neuroendocrine Function of Allosuckling. *J. Ethol.* 109, 185-195. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.2003.00870.x>.
- Roulin, A., Heeb, P., 1999. The immunological function of allosuckling. *Ecol Lett.* 2, 319-24. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.1999.00091.x>
- Sampedro, D., Crudeli, G., 2016. Condición Corporal y Preñez en Búfalas, in Crudeli, G., Konrad, J.L., Patiño, E.M. (Eds.), *Reproducción en Búfalas*, Moglia, Argentina, pp. 167-173.

- Sánchez, J.A., Romero, M.H., Suárez, V., 2017. Reproductive seasonality of female buffalo (*Bubalus bubalis*). Rev. Investig. Vet. Perú. 28, 606-618.
- Sane, C.R., Kaikini, A.S., Deshpande, B.R., Koranne, G.S., Desai, V.G., 1965. Study of biometry of genitalia of Jaffri buffalo-cows (*Bos bubalis*). Indian Vet. J. 42, 591.
- Sollecito, N., Lopes, L., Leite, R., 2011. Somatic cell count, profile of antimicrobial sensitivity and microorganisms isolated from buffalo mastitis: A breaf review. Rev. Bras. Med. Vet. 33, 18-22.
- Špinka, M., 2006. How important is natural behaviour in animal farming systems?. Appl. Anim. Behav. Sci. 100, 117-28. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.04.006>
- Stear, M.J., Bishop, S.C., Mallard, B.A., Raadsma, H., 2001. The sustainability, feasibility and desirability of breeding livestock for disease resistance. Res Vet Sci. 71, 1-7. <https://doi.org/10.1053/rvsc.2001.0496>
- Thomas, C.S., Svennersten-Sjaunja, K., Bhosrekar, M.R., Bruckmaier, R.M., 2004. Mammary cisternal size, cisternal milk and milk ejection in Murrah buffaloes. J. Dairy Res. 71, 162-8. <https://doi.org/10.1017/S0022029904000081>
- Tinoco-Magaña, J.C., Aguilar-Pérez, C.F., Delgado-León, R., Magaña-Monforte, J.G., Ku-Vera, J.C., Herrera-Camacho, J., 2012. Effects of energy supplementation on productivity of dual-purpose cows grazing in a silvopastoral system in the tropics.

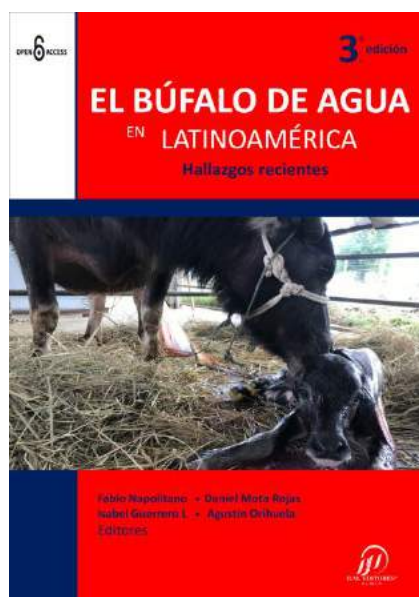
- Trop. Anim. Health Prod. 44, 1073-1078.
<https://doi.org/10.1007/s11250-011-0042-8>
- USDA, 2018. Milk Production In: Economics, Statistics and Market Information System (ESMIS).
<https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/h989r321c?locale=en> (accessed 3 February 2020)
- Víchová, J., Bartoš, L., 2005. Allosuckling in cattle: gain or compensation?. Appl Anim. Behav. Sci. 94, 223-235.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.02.015>
- Weaver, A.D., 1993. Advance in Bovine Digital Diseases. The Bov Pract Proceed. 27, 23-27.
- Ybañez, A.P., Ybañez, R.H.D., Armonia, R.K.M., Chico, J.K.E., Ferraren, K.J.V., Tapdasan, E.P., Salces, C.B., Maurillo, B.C.A., Galon, E.M.S., Macalanda, A.M.C., Moumouni, P.F.A., Xuan, X., 2019. First molecular detection of *Mycoplasma wenyonii* and the ectoparasite biodiversity in dairy water buffalo and cattle in Bohol, Philippines. Parasitol Int. 70, 77-81
<https://doi.org/10.1016/j.parint.2019.02.004>
- Zicarelli, L., 2016. Estacionalidad Reproductiva en Búfalas, in Crudeli, G., Konrad, J.L., Patiño, E.M. (Eds.), Reproducción en Búfalas, Moglia, Argentina, pp. 73-94.



CAPÍTULO 7

LA BÚFALA DE AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE: UNA VISIÓN INTERNACIONAL

Marcelo Daniel Ghezzi, Fabio Napolitano, Daniel Mota-Rojas, Gabriela Marcela Martínez, Giuseppe De Rosa, Adolfo Álvarez-Macías, Ada Braghieri, Aldo Bertoni, Jocelyn Gómez-Prado, Fabiola Torres-Bernal, Isabel Escobar y Francesco Serrapica



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición



CAPÍTULO 7

La búfala de agua en la producción de leche: una visión internacional

Marcelo Daniel Ghezzi¹, Fabio Napolitano², Daniel Mota-Rojas³, Gabriela Marcela Martínez⁴, Giuseppe De Rosa⁵, Adolfo Álvarez-Macías³, Ada Braghieri², Aldo Bertoni³, Jocelyn Gómez-Prado³, Fabiola Torres-Bernal³, Isabel Escobar³ y Francesco Serrapica⁵

¹Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

²Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

³Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.

⁴Manejo de Sistemas Ganaderos, Universidad Nacional de Salta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en la Estación Experimental de Salta. Argentina.

⁵Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici, Naples, Italia.

INTRODUCCIÓN

Los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) han destacado como la segunda especie que más leche aporta en el mundo, con alrededor de 15% del total; además, su leche sobresale por su alto contenido nutricional, por lo que es muy apreciada, en especial, para producir derivados como el queso mozzarella (FAO, 2018; Bertoni et. al., 2019a,b; Napolitano et al., 2019; 2020; Mota-Rojas et al., 2019a; Bertoni et al., 2020a,b). El búfalo de agua ha observado un aumento importante en el número de cabezas a nivel mundial; de 2008 a 2018 se reportó un crecimiento del 11%, destacando la India, uno de los países con mayor concentración (FAO, 2018). De igual forma, la

producción láctea se ha concentrado en países asiáticos, dentro de los cuales destacan la India y Pakistán donde se obtiene más del 70% de leche de búfalo a nivel mundial (Khedkar et al. 2016), para lo cual se emplean principalmente las razas Murrah, Nili-Ravi, Surti y Jaffabaradi (Zava y Sansinena, 2017). Asimismo, en Europa se considera la raza Mediterránea Italiana que al igual que las mencionadas anteriormente, es sobresaliente en sus cualidades para la producción de leche (Bertoni et al., 2019a,b).

Dicho lo anterior, la leche de búfalo se ha ido incluyendo paulatinamente a la dieta en grupos sociales de diferentes partes del mundo debido a sus características nutricionales sobresalientes, como presentar más del 3% de caseína que la de bovino convencional (Khedkar et al. 2016). Aunado a ello, en países como Italia, la producción de leche se ha enfocado a la fabricación de subproductos lácteos como el queso Mozzarella, debido a su elevado contenido en proteína y ácidos grasos esenciales (Guizar et al., 2019; Zicarelli, 2004). Como se apuntaba previamente, a nivel mundial por volumen de leche producido, la de búfalo ocupa el segundo lugar en importancia, luego de la leche de vaca, seguido por la de cabra y oveja que ocupan el tercer y cuarto lugar respectivamente (Patiño, 2009). En América Latina y el Caribe, según la información reportada por (FAO-FEPALE, 2012), la leche bovina es la de mayor producción, seguida por las especies ovinas y caprinas. Aunque existe en

pequeños volúmenes, todavía no se han formalizado los registros de la producción láctea de la especie bufalina.

La evidencia científica disponible ha develado que las propiedades y la calidad tanto de la leche de búfala como de sus subproductos están influenciadas por factores como el régimen alimenticio, las condiciones ambientales y el método de producción primaria (Sabia et al., 2019; Shelke et al., 2012). Por ello, se han desarrollado investigaciones para analizar el efecto que tienen diversas dietas y formas de conservación del producto entre otros aspectos relevantes. También se han examinado aspectos reproductivos y patologías que pueden restringir la producción de la búfala lechera, como la mastitis (Jingar, 2014). Este estudio puede coadyuvar en la identificación de los procesos a seguir para potenciar las alternativas de solución y, así, evitar o paliar esta patología para mejorar la producción y calidad de la leche de esta especie.

En ese marco, el presente capítulo tiene como objetivo describir y discutir los hallazgos científicos recientes y relevantes sobre la búfala de agua orientada a la producción de leche, examinando fuentes bibliográficas generadas en diferentes partes del mundo.

INVENTARIO MUNDIAL DEL BÚFALO

De acuerdo a la FAO, en el 2018 se registró un inventario de búfalos en el mundo de más de 206 millones de cabezas, concentradas en el continente asiático, con el 97.4% del total mundial; los países que sobresalen de ese continente son India, China y Pakistán. Le sigue el continente africano con 1.7 %, despuntando Egipto.

En América y Europa se concentró una parte marginal con 0.7 y 0.2%, respectivamente; sin embargo, en estos dos últimos continentes se aprecia un crecimiento notable entre el 2008 y el 2018 (FAO, 2018). En América, los países con mayor número de búfalos de agua son: Brasil, con 3 millones de cabezas, Venezuela con 960 mil, y en quinto lugar México, con 45,000 (Crudeli et al., 2016).

A partir de lo reportado por la FAO (2018), el Cuadro 1 expone el número de cabezas y el crecimiento poblacional de los búfalos de agua en el mundo y por continente en 2008 y 2018, en el cual se destaca un crecimiento en todos los continentes excepto en África, que mostró un decrecimiento del 13% en dicho periodo. También salvo el caso de África, se aprecia en el mismo Cuadro 1 que en todas las regiones los búfalos han experimentado un crecimiento más acelerado que los vacunos convencionales.

Cuadro 1. Crecimiento poblacional de los búfalos de agua en el período 2008-2018.

Región	2008		2018		Crecimiento 2008-2018	
	Búfalo de agua	Ganado convencional Bos	Búfalo de agua	Ganado convencional Bos	Búfalo de agua	Ganado convencional Bos
Mundo	185,741,258	1,415,551,742	206,600,676	1,489,744,504	11%	5%
África	4,052,674	285,870,174	3,506,086	355,694,137	-13%	24%
América	1,153,080	512,889,492	1,397,116	522,867,113	21%	2%
Asia	180,202,411	451,397,034	201,258,156	454,810,256	12%	1%
Europa	332,883	127,610,204	439,047	119,357,517	32%	-6%
Oceanía	210	37,784,838	271	37,015,482	29%	-2%

Fuente: FAO, 2018

CARACTERIZACIÓN DE LAS RAZAS DEL BÚFALO DE AGUA EMPLEADAS PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHE

De acuerdo con la Asociación Italiana de Criadores de Búfalos (ANASB), la morfología funcional de las hembras es un aspecto clave en la producción láctea, entre los rasgos deseables para las búfalas están una línea dorsal correcta, buen desarrollo de la grupa, conformación armoniosa de la estructura ósea (anchura y

profundidad corporal), buena conformación del corvejón y la pezuña, así como buen desarrollo del sistema mamario.

Cabe destacar la importancia del adecuado desarrollo de los cuartos traseros, pues se estima que el 60% de la leche total proviene de ellos (Zava y Sansinena, 2017). De manera más específica, para la producción láctea se buscan hembras económicamente rentables, con capacidad de transformar grandes cantidades de alimento en leche de buena calidad composicional además de registrar una estancia más amplia en la unidad de producción (Polihronov y Aleksiev, 1979).

Considerando estas características es que se ha optado por privilegiar ciertas razas para los sistemas de producción de leche. En el caso de los países asiáticos, particularmente en India, se priorizan las razas Murrah, Nili-Ravi, Surti y Jafarabadi, ya que se han catalogado como las más productivas; de hecho, la raza Murrah India, la dominante a nivel mundial registra un rendimiento por lactancia de entre 1,500 y 5,000 litros, con un contenido promedio de grasa butírica de 7.5% (Zava y Sansinena, 2017). En lo que concierne a Europa, las búfalas mediterráneas mantienen lactancias promedio de 270 días con 2,462 kg/lactancia con 8.07% y 4.65% de grasa y proteína, de forma respectiva (AIA, 2018).

Para ilustrar al respecto, en la **Figura 1**, se compara la producción láctea diaria de las razas Murrah, Nili-Ravi y Mediterránea.

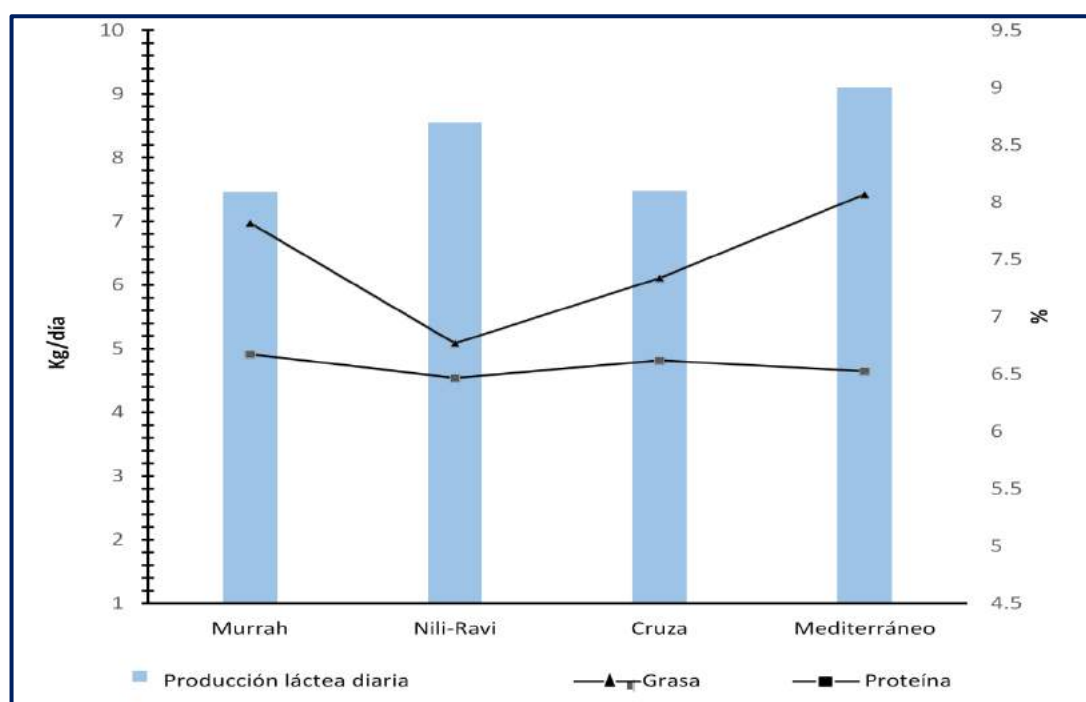


Figura 1. Producción diaria de leche en tres razas de búfala lechera. (Adaptado de Zhou et al., 2018).

La raza Murrah (**Figura 2**) se caracteriza por ser de color negro azabache, con piel suave y fina, cuernos curvados, cabeza y cuello livianos, extremidades cortas, cadera ancha, ubre y pezones bien desarrollados, estos últimos negros, largos y robustos (Mingala et al., 2017). La raza Nili-Ravi posee características muy similares a la Murrah, incluyendo el adecuado desarrollo de las ubres; sus diferencias radican principalmente en las marcas blancas que presentan en las extremidades y sus cuernos menos enroscados (Moioli y Borghese, 2005). En lo que concierne a la raza Surti, conserva una piel negra o rojiza y cuernos planos, también con una ubre bien desarrollada, colocada justo entre los miembros pélvicos (Mingala et al., 2017). La raza Jafarabadi se distingue por sus cuernos anchos que descienden a cada lado de su cuello, su cuerpo es largo

con un pecho ancho y profundo, ubre con venas muy prominentes y pezones largos (Mingala et al., 2017).

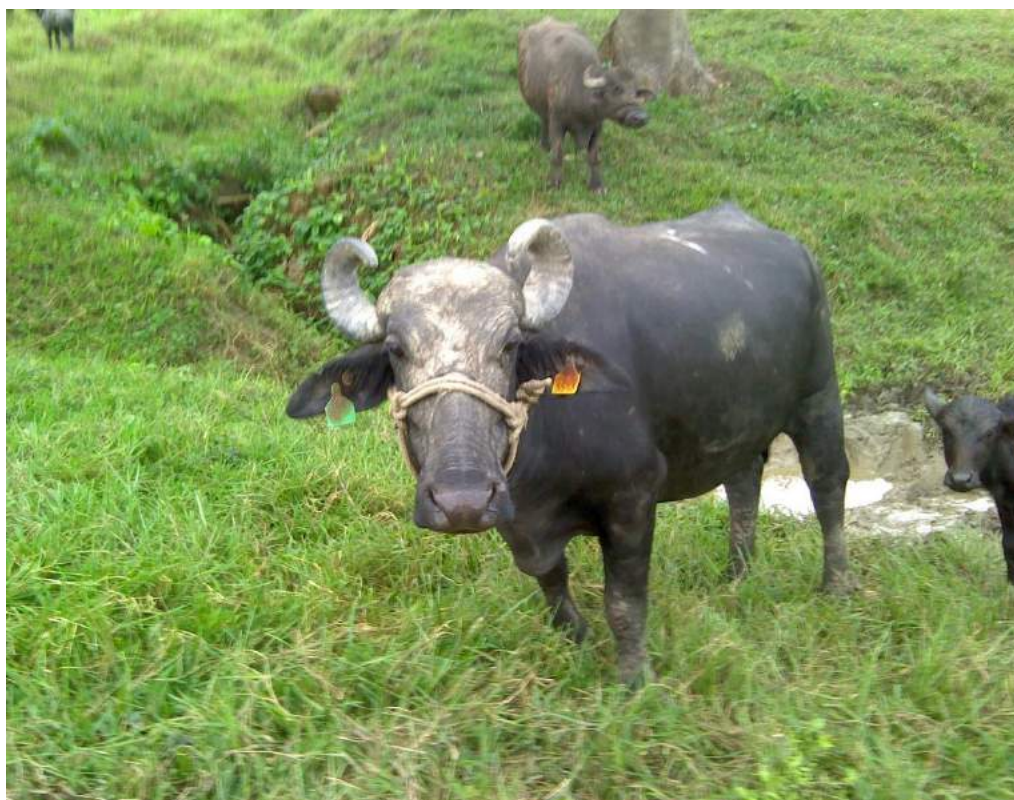


Figura 2. Búfala de la raza Murrah. Murrah significa espiral en hindú y deriva de la forma de los cuernos que presentan los ejemplares de esta raza. Su piel y pelaje son negros, su cuerpo es robusto y profundo y posee ubres con buen desarrollo (Patiño et al., 2016). Se considera una raza con buenas habilidades lecheras, al igual que la raza mediterránea. Los machos pueden llegar a pesar al menos 600 kg y las hembras un peso promedio de 550 kg (Almaguer, 2007).

Además de las razas antes descritas, en India se ha recurrido a la raza Mehsana, la cual posee peculiaridades de Surti y Murrah, destacando su ubre bien desarrollada y posicionada, además de prominentes venas mamarias. En Pakistán se emplea la raza Kundi, la cual se identifica por tener cuartos traseros grandes. En Iraq crían la raza Kuhzestani, que es considerada una de las más grandes en el mundo;

además de utilizar la raza Kuhzestani, en Irán en Mazandarani (Irán), se emplean las razas Azeri, que posee ubres en forma de campana; en Nepal recurren a las razas Lime, Parkote y Tarai (Moioli, 2005; Mingala et al., 2017). También se llegan a adoptar las razas Bhadawari, Egipcia, Jerangi, Kalahandi, Kanara, Manda, Nagpuri y Pandharpuri, las cuales también ostentan características apropiadas para la producción de carne, por lo que preferentemente se han adoptado bajo sistemas de doble propósito (Cockrill, 1981).

Cabe resaltar que, a pesar de emplear las mismas razas, el rendimiento de lactancia puede variar de un país a otro, como es el caso de la raza Nili-Ravi que en años anteriores reportó un rendimiento por lactancia de 1,820 kg en India, mientras que en China se registraron aproximadamente 2,262 kg (Borghese y Mazzi, 2005), lo que dependió tanto del medio ambiente como de la gestión de las fincas y, más específicamente, del manejo del hato.

En los países europeos se ha optado por la raza Mediterránea principalmente (Borghese y Mazzi, 2005). Los búfalos mediterráneos, a pesar de presentar algunas peculiaridades dependiendo del país donde se desarrolle, se caracterizan por tener cuernos largos que apuntan hacia atrás y ligeramente hacia afuera, un cuerpo con pecho ancho y profundo, una grupa ancha pero corta y una ubre mediana con pezones cilíndricos.

Cabe subrayar que la raza ítalo-mediterránea posee una ubre con la forma adecuada para implementar el ordeño mecánico (Mingala et al., 2017).

En Italia, Rumania y Bulgaria también se recurre a la raza Murrah búlgara, producto de la cruce de Mediterráneo búlgaro y Murrah india (Mingala et al., 2017).

Respecto al continente americano, tanto en Brasil como en Argentina se han priorizado las razas Murrah, Mediterráneo y Jafarabadi, al igual que las cruces entre ellas (Borghese y Mazzi, 2005).

En la actualidad, se han puesto en marcha una gran variedad de investigaciones enfocadas en la búfala lechera. Dichos estudios se han enfocado a temas como la calidad de la leche y de subproductos como el queso Mozzarella, aspectos reproductivos y enfermedades de trascendencia productiva.

Sobre la calidad de la leche se ha examinado la influencia de la dieta (por ejemplo, administración de aceite de cacahuete) en la composición nutricional de la leche; el efecto en el sabor tras adicionar otros productos como la calabaza; también el efecto de los sistemas de producción sobre la calidad de la leche. De manera similar, se ha indagado sobre la repercusión de la dieta (por ejemplo, ensilado de raigrás o sorgo fresco) en la composición y rendimiento

del queso Mozzarella; el efecto de la estación (verano o invierno); la influencia del pH de molienda; así como la relación entre parámetros genéticos y fenotípicos en el rendimiento quesero.

En cuanto a aspectos reproductivos, se ha analizado la influencia de factores como la humedad y la temperatura; la eficiencia de protocolos reproductivos que suelen aplicarse en el bovino convencional; la criopreservación de embriones y otras técnicas de reproducción asistida como la transferencia nuclear de células somáticas.

Referente a las enfermedades, se han identificado los microorganismos infecciosos causante de la mastitis; se ha experimentado el efecto de la paridad en la mastitis y su sensibilidad a los antibióticos; el uso de la actividad enzimática para detectar mastitis subclínica. También se ha evaluado la relación entre la estacionalidad y la prevalencia de enfermedades.

A continuación, se describirán los hallazgos científicos más recientes y relevantes que se relacionan con la búfala lechera, los cuales se sintetizan en la **Figura 3**.

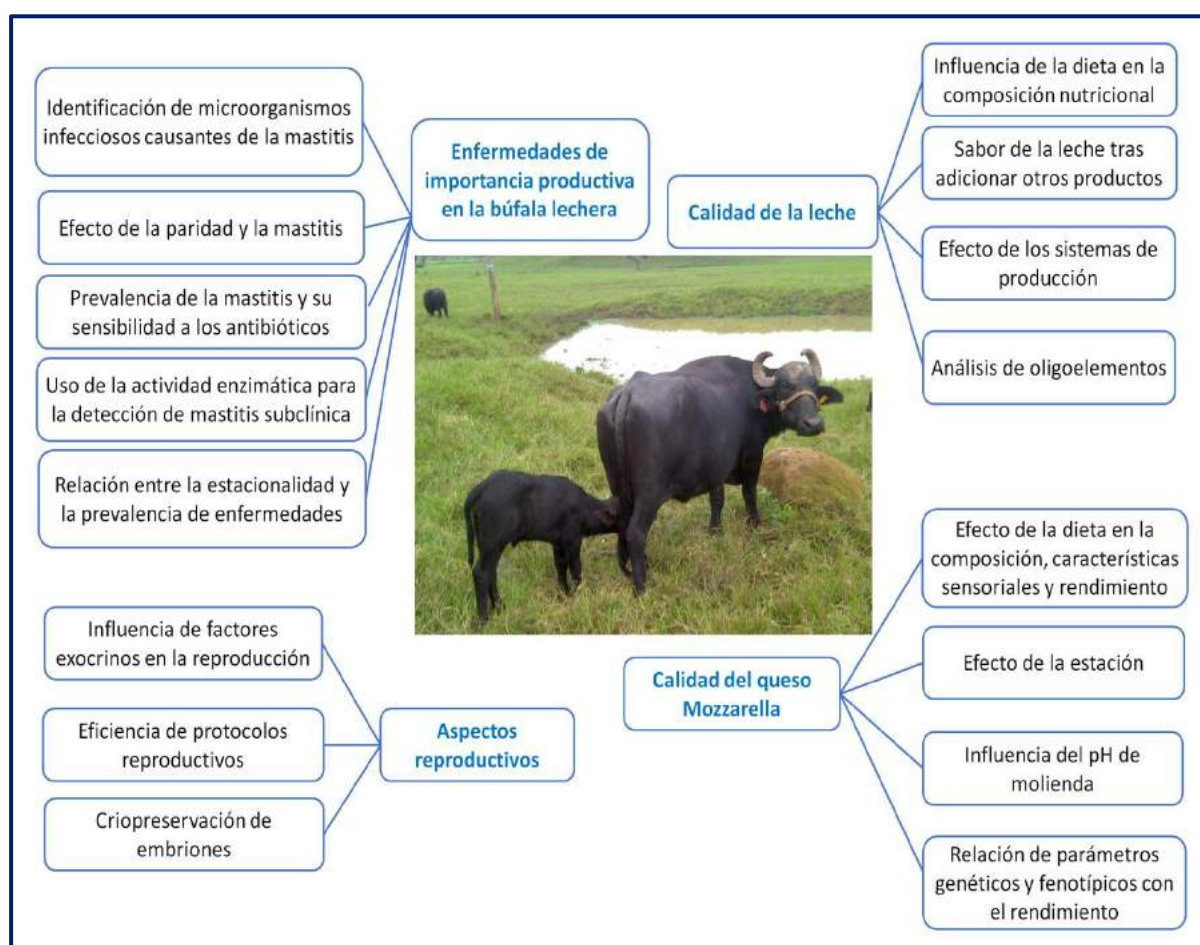


Figura 3. Principales temáticas y áreas del conocimiento abordadas en el estudio de la búfala lechera

ASPECTOS REPRODUCTIVOS BÁSICOS

En los últimos años el búfalo se ha convertido en uno de los principales animales de granja productores de leche y carne en muchos países en desarrollo (Parmpai et al., 2016). Durante 2016-2017, India produjo un total de 165,4 millones de toneladas de leche, de las cuales el 49%, es decir, 81 millones de toneladas fueron aportadas por búfalos, de acuerdo al informe anual del

Departamento de Ganadería Lechera y Pesca (DADF) de ese país, posicionando a esta especie como la primera elección para el sector lácteo y cárnico en esa nación (Selokar, 2018). Esto ha acentuado la necesidad de estudiar la fisiología reproductiva de la especie con la finalidad de acelerar los procesos de intensificación.



Figura 4. Búfalas con sus crías. En la actualidad es conocido que la crianza de búfalo está determinada por factores tanto exocrinos como endócrinos. Entre los factores exocrinos se consideran los fotoperiodos, la nutrición, el manejo, la humedad y la temperatura, entre otros. Así como los factores endocrinos, se distinguen sobre todo los de tipos hormonal y metabólico siendo IGF1, la insulina, prolactina, las hormonas tiroideas, melatonina y progesterona como las principales sustancias involucradas (D'Occhio et al., 2020).

De manera general, se considera que los búfalos registran una maduración sexual tardía que va de los 15 a los 22 meses, dependiendo del estado nutricional y del ambiente en que se desarrollen (Martínez et al., 2009). Estos animales también suelen

presentar periodos de anestro posparto prolongado (Barile, 2005) derivado del pulso insuficiente de LH para soportar las etapas finales del desarrollo folicular, ocasionando que el comportamiento del estro y la ovulación se suspenda (de Carvalho et al., 2016), convirtiéndola en una especie reproductiva estacional. Una de las principales dificultades para intensificar los procesos productivos en búfalos reside precisamente en su limitada eficiencia reproductiva, complicando de paso su aptitud para insertarse en programas de inseminación artificial (D'Occhio et al., 2020). Esta especie registra también largos períodos de gestación que típicamente van de 300 a 320 días a diferencia del ganado vacuno, que en los casos de *Bos taurus* y *Bos indicus* suelen requerir lapsos de 279 a 283 días y 290 a 293 días, respectivamente.

La alta influencia que tienen ciertos factores exocrinos sobre la reproducción de los bufalinos la ha convertido en una especie digna de estudio. Por ejemplo, en los trópicos y subtrópicos donde la temperatura y la humedad, especialmente en verano, son altas se ha demostrado que repercuten en el periodo de anestro prolongado (Perera, 2011). Algunos investigadores han indicado que esto se debe a los altos niveles de prolactina, ya que aumenta durante los días largos y con estrés por calor. Esta hiperprolactinemia reduce los niveles de gonadotropinas que son las encargadas del desarrollo del cuerpo lúteo y la secreción de progesterona; esencial para el

mantenimiento de una preñez (Campanile et al., 2016; Sheth et al., 1978).

Durante los días largos de verano, los búfalos transitan por fotoperiodo negativo en donde el ciclo circadiano de la melatonina se altera, ya que es secretada durante etapas oscuras del ciclo día-noche a través de la glándula pineal. Es una sustancia antioxidante que elimina los radicales libres de oxígeno para reducir tanto el estrés oxidativo como la apoptosis en células germinales (D'Occhio et al., 2020).

Lamentablemente, aún se siguen implementando protocolos de reproducción de ganado vacuno a las búfalas, en particular con técnicas de reproducción asistida como: la superovulación, la transferencia de embriones, la recolección de óvulos, la fertilización in vitro y la transferencia nuclear de células somáticas, que pese a ser similares, no han considerado todas las especificidades de la especie bubalina (Selokar, 2018).

En varios estudios se ha demostrado que la criopreservación de embriones de búfalo, al no valorar el alto contenido lipídico de los ovocitos y embriones, provoca que se pierda la integridad de la membrana o se lesionen con mayor facilidad al momento de la congelación suscitando un choque osmótico y la consecuente pérdida de células (Parnpai et al., 2016).

A diferencia de los ovocitos de bovinos, los de búfalo son células extremadamente grandes y con alto contenido intracelular de lípidos,

particularmente sensibles a las lesiones por frío, convirtiéndolos consecuentemente en poco aptos para la criopreservación; por esta razón la congelación lenta no se recomienda para ovocitos inmaduros. Sin embargo, se ha propuesto la implementación de nuevos métodos, que han resultado más adecuados para optimizar la reproducción asistida de esta especie. Un ejemplo es la vitrificación, que ha sustituido paulatinamente a la criopreservación. Es un método que, en lugar de cristalizar, solidifica por extrema elevación de la viscosidad durante el enfriamiento, aumentando la tasa de criosupervivencia de ovocitos maduros (Fahy et al., 1984; Sirisha et al., 2013).

Los búfalos de raza Murrah implantados con melatonina mostraron mejoría en la calidad del semen durante la temporada no reproductiva; este hallazgo fue también demostrado en toros Mithun estacionales. En el caso de las hembras la exposición previa a la melatonina ha mostrado efectos beneficiosos para la gametogénesis además de una mejor respuesta a los tratamientos de sincronización de estro (D'Occhio et al., 2020).

Independientemente del método de reproducción asistida que se adopte se deben ponderar las necesidades medioambientales propias de los búfalos, para que favorezcan una correcta tasa de reproducción y producción de leche y subproductos, así como el despliegue de comportamientos naturales. Bud et al. (1985) y Napolitano et al. (2007) han estimado que los búfalos pasan en

promedio el 27% del tiempo alimentándose, el 39% rumiando y el 34% del tiempo en descanso (acostado o de pie).

El confinamiento en sistemas intensivos ha alterado el desarrollo del comportamiento normal del búfalos. En particular, el limitado o nulo acceso a pastos y agua para revolcarse prolongan sus períodos de inactividad. Esta restricción durante las estaciones cálidas, aunado a la insuficientemente disipación del calor por falta de glándulas sudoríparas lleva a que la búfala produzca menos leche, afectando la fertilidad, aumentando el número de días abiertos, el porcentaje de hembras no preñadas, así como el periodo de anestro posparto. Sin embargo, no se han identificado estudios específicos para determinar cuáles son los requisitos de espacio reales para esta especie (De Rosa et al., 2015; Napolitano et al., 2013).

ENFERMEDADES SIGNIFICATIVAS EN EL BÚFALO DE AGUA

Una de las principales preocupaciones que surgen en las fincas lecheras es la presencia de mastitis, causante de pérdidas significativas que pueden llegar incluso el sacrificio del animal a causa de su padecimiento extremo. Sin embargo, el búfalo, presenta características morfológicas que podrían atenuar los efectos de la mastitis. En primera instancia poseen una ubre colgante y pezones más largos, si se los compara con aquellos de la vaca, figura 5, los que en principio podrían aumentar el riesgo de contraer la enfermedad

(Fagiolo y Lai, 2007; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c). Las formas cilíndricas de los pezones son más comunes en la raza Murrah. Los cuartos traseros de la ubre son un poco más grandes que los delanteros y contienen más leche. La proporción aproximada es de 60:40 (posterior: anterior).

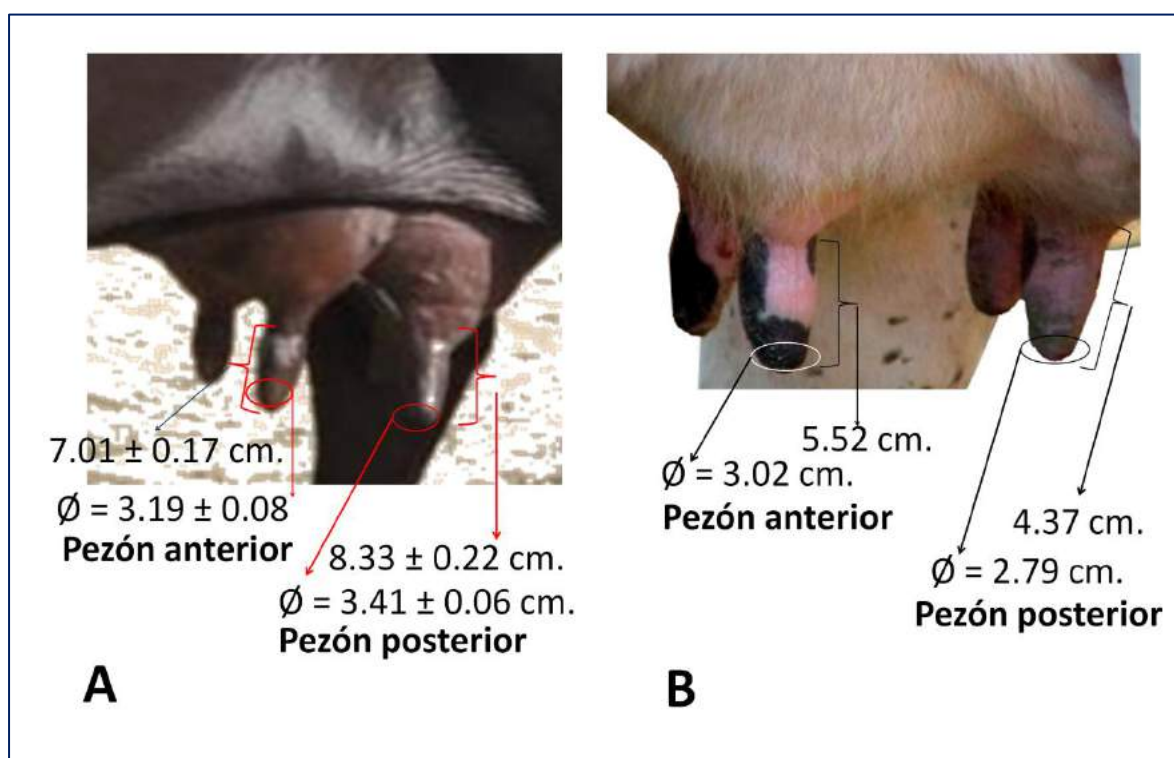


Figura 5. Anatomía comparada de la glándula mamaria y los pezones. A. en la búfala de agua (Boselli et al., 2010) y **B.** en la vaca Holando (Soto Opazo, 2014; Bertoni et al., 2020a,b).

El reciente estudio de Ozenc et al., (2020) muestra que en los búfalos los pezones poseen menos músculos, pero más haces de colágeno en comparación con los de vaca. El temperamento del animal durante el ordeño afecta la eficacia del ordeño, y en las búfalas nerviosas, la estimulación por sí sola puede develarse insuficiente para abrir el

canal del pezón y, por tanto, lograr un ordeño completo. Además, también poseen un canal del pezón largo y estrecho lo cual podría prevenir la invasión de microorganismos (Fagiolo y Lai, 2007).

Con ello, las investigaciones sobre mastitis en búfalos brindan resultados relevantes que permiten la identificación de los microorganismos infecciosos causantes de la enfermedad, los que pueden variar según la región, además pueden propiciar el acceso a nuevos métodos de diagnóstico en los búfalos. Al respecto, un estudio realizado en India por Jingar (2014), tras una evaluación de 12 años, en el cual se determinó el efecto de la cantidad de partos y la reproducción sobre la incidencia de mastitis, esto en bovinos convencionales (Karan Fries, Karan Swiss, Sahiwal y Tharparkar) y búfalos Murrah, los hallazgos revelaron una menor incidencia de mastitis en las búfalas (26.26) en comparación con las vacas (36.90, 38.46, 33.98, 33.44 Karan Fries, Karan Swiss, Sahiwal y Tharparkar respectivamente). Además, las búfalas no evidenciaron un efecto significativo entre la cantidad de partos y la mastitis, en comparación con los bovinos, que conforme se incrementan el número de partos se eleva la incidencia de la mastitis (Jingar et al., 2014).

Por su parte, en Pakistán (Lahore), Saleem et al. (2013) indagaron la prevalencia de mastitis y la sensibilidad a los antibióticos en bovinos y búfalos, resultando que la prevalencia de mastitis en búfalos fue del 21% y de 24.7% en vacunos. Sin embargo, se manifestó mayor sensibilidad al ciprofloxacino en el caso del búfalo.

Otra contribución relevante se llevó a cabo en Italia, en donde se estudiaron los cambios en la glándula mamaria (en un lote de 50 búfalas) a través de la infiltración celular y mediante la comparación del recuento de células somáticas con el grado de inflamación tisular. Los autores concluyeron que el 92% de las ubres poseía características histológicas atribuibles a mastitis, además de observar la agregación de macrófagos, células plasmáticas y linfocitos en el 48% de los casos, las cuales tienden a formar estructuras linfoides terciarias. Éstas podrían ser parte medular en el mantenimiento de las respuestas inmunitarias contra los antígenos, generando de esta forma la transición hacia la etapa crónica. Además, las estructuras linfoides terciarias podrían llegar a desempeñar la función de mantenimiento de la respuesta inmunitaria contra los antígenos persistentes, contribuyendo a determinar el curso de la mastitis crónica (Restucci et al., 2019). A causa de la dificultad para diagnosticar la mastitis subclínica en las búfalas de agua, las aportaciones efectuadas en la India han abonado al diagnóstico oportuno.

Por su parte, Tripaldi et al. (2010) evaluaron los minerales y la actividad enzimática de lactato deshidrogenasa, fosfatasa alcalina y aspartato aminotransferasa en la leche, acompañado del recuento de células somáticas. Los resultados demostraron que la fosfatasa alcalina y el Zinc facilitan el diagnóstico de mastitis subclínica, por tanto, los autores recomiendan su análisis para el diagnóstico oportuno, independientemente del agente etiológico (Guha et al.,

2012). Esto representa un aporte valioso, pues no sólo se promueve el bienestar del individuo, sino que también bloquea los efectos negativos en la calidad de la leche, puesto que se ha relacionado con una disminución en la producción, cambios en las propiedades de coagulación y en la composición de la leche (Tripaldi et al., 2010).

Al igual que los bovinos, los búfalos están expuestos a infecciones, sin embargo, estos últimos han manifestado mayor resistencia a las enfermedades que los primeros, de esta forma mejora su bienestar y productividad en las regiones cálidas y húmedas, las cuales generalmente inducen a un mayor padecimiento de mastitis y otras enfermedades (Deb et al., 2016).

En países como Pakistán, la aportación del búfalo de agua es relevante en la economía ganadera nacional. Sin embargo, la mastitis ha registrado un impacto en la producción, conllevando pérdidas que rondan las 640 rupias (equivalente a USD 8.74) al día por animal (Fareed et al., 2017).

Las mastitis, tanto clínicas como subclínicas, son las patologías más frecuentes en el ganado lechero a lo largo y ancho de todo el mundo, afectando el bienestar de los animales en el parto, lactancia y otras etapas fisiológicas (Mota-Rojas et al., 2019b; Napolitano et al., 2019; Napolitano et al., 2020), causando efectos negativos sobre la producción y composición de la leche (De Graves y Fetrow, 1993; Hortet y Seegers, 1998; Lázaro de la Torre et al., 2019). Entre otros efectos adversos de las mastitis, se cuentan las penalidades impuestas por la industria debido al aumento del conteo de células

somáticas, así como las pérdidas económicas por los tiempos de retirada de la leche durante y después de los tratamientos antibióticos, por los costos de los tratamientos y la mano de obra adicional.

Las inflamaciones que causan las mastitis son dolorosas y, por lo tanto, están estrechamente asociadas al bienestar de las hembras. Tanto es así que, aunque menos estudiados, se pueden mencionar que por sus efectos negativos, por ejemplo, se presenta una menor longevidad (Martínez et al., 2016). También algunos estudios han detectado una asociación entre la mastitis y las heridas clínicas e hinchazones a nivel del tarso (Sogstadet et al., 2006) o con ciertas condiciones de manejo (Nyman et al., 2009).

También se presta especial atención a la brucelosis, debido al impacto zoonótico de carácter mundial, concentrada en la zona mediterránea, India, Asia central y América Latina (Paradiso et al., 2018). En Colombia (Córdoba) se ha medido su prevalencia mediante técnicas de aglutinación rápida en placa de Rosa de Bengala y la prueba de ELISA. A través del estudio realizado en tres fincas, se determinó una serovalencia a *B. abortus* del 12 % mediante la prueba de Rosa de Bengala, los cuales fueron confirmados a través del test de ELISA, con un 3% de seroprevalencia. Con ello los autores reiteran la importancia de la vigilancia activa en aras de establecer un control sobre la incidencia, a pesar de que ésta suele ser baja (Calderón et al., 2010).

Pese a que los búfalos suelen tener cierto grado de resistencia a la infección (en comparación con los bovinos convencionales), es necesario instrumentar programas de prevención entre los que resulta primordial la restricción de importaciones de los animales positivos (Fosgate et al., 2011).

Otra de las afecciones recurrentes en los búfalos lecheros es el parasitismo, que afecta la producción de leche, el retraso en el crecimiento y provoca anemia. En general, son más susceptibles los terneros, los cuales podrían llegar a morir en caso de no ser tratados oportunamente, originando pérdidas económicas, con mayores afectaciones en los países en desarrollo (Sharif y Ahmad 2014).

Datos recabados por Mingala y Gundran (2008), tras realizar un estudio en Filipinas, orientado a determinar el perfil de la salud y productividad de los búfalos de agua, monitorearon la mortalidad, morbilidad y la productividad y estimaron una tasa de mortalidad de 0.7 muertes por cada 1,000 terneros. Así mismo, se mostró que los parásitos como coccidias, tripanosoma y parásitos hepáticos disminuyeron la tasa de crecimiento de los terneros. Además, la presencia de fasciola, coccidias y trypanosoma mermaron el rendimiento lechero.

Por otro lado, en Italia, tras el análisis de muestras fecales (a través de la técnica de flotación), se estableció que el 2.4% correspondía a *Moniezia spp*, el 7.1% a *Paramphistomidae*, 2.4% a *Dicrocoelium*

dendriticum, 3.1% a *Fasciola hepática* y 33.1% a *Strongylus* (Condoleo et al., 2007).

En India (Guwahati), tras comparar la estacionalidad con la prevalencia de enfermedades en bovinos convencionales y búfalos de pantano, Das et al. (2018) calcularon que el 59.3% de los bovinos tenían cargas parasitarias, en contraste con los búfalos, los cuales expresaron una carga en el 29.8% de los animales. Entre las particularidades del estudio derivó que los huevos por gramo de heces fueron más elevados en bovinos que en búfalos (582.44 ± 8.13 y 475.86 ± 11.29), mientras que el conteo de oocistos por gramo ascendió a 425.00 ± 20.37 en vacunos y a 251.75 ± 22.35 en búfalos. También identificaron una correlación alta entre el ambiente con lluvia y temperatura en ambas especies considerando el conteo de huevos por gramo y oocistos por gramo. En esa línea, los autores infieren que el clima en esa región favorece el desarrollo de parásitos.

Por su parte, en México (sureste de Veracruz y parte central del estado de Tabasco), con el objetivo de determinar los parásitos gastrointestinales en búfalos Murrah en condiciones del trópico húmedo, Ojeda et al. (2017), encontraron que el 42% de la población poseía una carga parasitaria, cuyo principal parásito correspondía a *Strongyloides* con el 47.2%, seguido del 33.9% de *Cooperia* y *Hemonchus* con el 10.4%, estimados mediante técnicas de McMaster.

Pese a ser un aspecto relevante en la salud del búfalo, el parasitismo puede controlarse a través de diversas estrategias que involucran aspectos de nutrición como es el suministro de raciones equilibradas, prácticas de manejo que promuevan la disminución del estrés, además de instaurar un ambiente seco y limpio, acompañado de desparasitaciones oportunas (Sharif y Ahmad 2014).

En cuanto a las infecciones bacterianas como *Brucella*, *Arcanobacterium pyogenes*, *Chlamydophila spp*, *Coxiella burnetii*, *Bacillus licheniformis*, *E. coli* y sus toxinas, *Leptospira spp.* y algunos virus como Bubaline Herpes Virus-1 (BuHV-1), Virus de la Diarrea Viral Bovina, denotan asociación con la presencia de abortos en las fincas ganaderas (Galiero, 2016). Para mayores detalles se aconseja consultar los capítulos de hallazgos recientes del proceso salud-enfermedad de búfalas de agua en la sección III.

ASPÉCTOS GENERALES DE LA CALIDAD DE LA LECHE

Aunque se ha elaborado un capítulo donde se abordaran los atributos fisicoquímicos, sensoriales y la composición nutricional de la leche de búfalo, en el presente apartado se abordan, de manera general, peculiaridades de la calidad de la leche de la búfala.

En Asia, principalmente en la India, se produce alrededor del 70% de leche de búfalo del total de la producción mundial; se ha identificado que la leche de búfalo presenta un 3% adicional de caseína respecto a

la leche de vaca, además de presentar mayor proporción de sólidos totales (Khedkar et al. 2016).

La calidad de la leche de búfalo está influenciada por diversos factores, uno de los principales es la alimentación de los animales. Al respecto, en la India, Shelke et al. (2012), evaluaron la producción de leche, así como la composición nutricional de la misma a través de la dieta. El trabajo se implementó con un total de 19 búfalas Murrah, los cuales se dividieron en dos grupos, el grupo control que se alimentó con forraje de maíz, una mezcla de concentrado y paja de trigo; por su parte, el grupo de tratamiento fue alimentado con la misma dieta, más 25% de grasa, y suplemento de concentrado con mostaza tratada con formaldehído y aceite de cacahuete. Los búfalos se alimentaron dos veces al día durante 90 días; las muestras de leche se levantaron durante el periodo de lactancia y se evaluó contenido de grasa, proteína, sólidos no grasos y lactosa, principalmente a través de un calibrador de leche. Los resultados revelaron que el grupo con tratamiento registró una producción de leche mayor al grupo control una vez retirado el suplemento, así como mayor porcentaje de grasa; en contraste, el porcentaje de proteína, lactosa y sólidos no grasos resultaron similares en ambos grupos.

El sabor de la leche es otro factor relevante en lo concerniente a la calidad de los productos, ya que es un criterio que suele valorar el consumidor. Patel et al. (2020) prepararon leche de búfalo con sabor a calabaza para definir las propiedades sensoriales, las características

de almacenamiento, así como el análisis nutricional de la leche con el objetivo de hacerla más atractiva para el consumo. Para ello, recolectaron muestras de leche para añadirle sabor con ayuda de pulpa de calabaza y azúcar en distintas proporciones, las evaluaciones de cada característica se realizaron por triplicado; las propiedades sensoriales fueron evaluadas por un jurado, cuyos integrantes tomaron en cuenta el sabor, color y apariencia; el análisis nutricional se efectuó por distintos métodos químicos, mientras que el almacenamiento se llevó a cabo bajo condiciones ambientales durante 180 días, tomando en cuenta el contenido microbiano y la calidad nutricional. Entre los resultados se descubrió que la leche preparada con pulpa de calabaza favorece el consumo por el sabor y la dulzura que brinda el azúcar al producto, pero esto aumenta los niveles de carbohidratos y el nivel de proteína se ve ligeramente disminuido; en cuanto al almacenamiento se encontraron colonias de algunos hongos y bacterias. Se concluyó que este crecimiento fue generado por las condiciones en las que se preparó la leche.

De acuerdo con el trabajo de Patel y Mistry (1997), en el cual se compararon las propiedades fisicoquímicas de la leche de vaca en relación a la de búfala mediante el uso de ultrafiltración para determinar incrementos en la concentración de sólidos totales, proteínas y lactosa, se mostró que la leche de vaca registró valores más elevados, los cuales pueden ser importantes para la elaboración

de derivados; estos resultados pueden variar ya que las condiciones, instalaciones y métodos utilizados puede predisponer su variación.

En Grecia, Zotos y Bampidis (2014), evaluaron la cantidad de grasa en la leche de búfalo en un periodo de seis meses, las muestras se recolectaron mensualmente durante el periodo de lactancia, los búfalos consumieron una dieta a base de heno de alfalfa, ensilado de maíz, harina de soja y premezcla mineral.

Se estimó que durante la lactancia los niveles de lípidos aumentaron mientras que los niveles de colesterol permanecieron estables, gracias a la dieta animal. Por otro lado, en Italia Esposito et al. (2017), recolectaron las muestras de leche cruda de búfalo de 68 granjas de manera aleatoria, para después examinarlas mediante análisis químico para determinar la calidad de la leche mediante el análisis de oligoelementos. Se registró la presencia de algunos metales pesados que son altamente tóxicos como el Hg, Pb, Cd y As.

Estos resultados se compararon con los obtenidos en trabajos similares en el mundo y concluyeron que los elementos encontrados en este estudio fueron muy bajos con respecto a los reportados por la literatura y no representan riesgo para la salud humana.

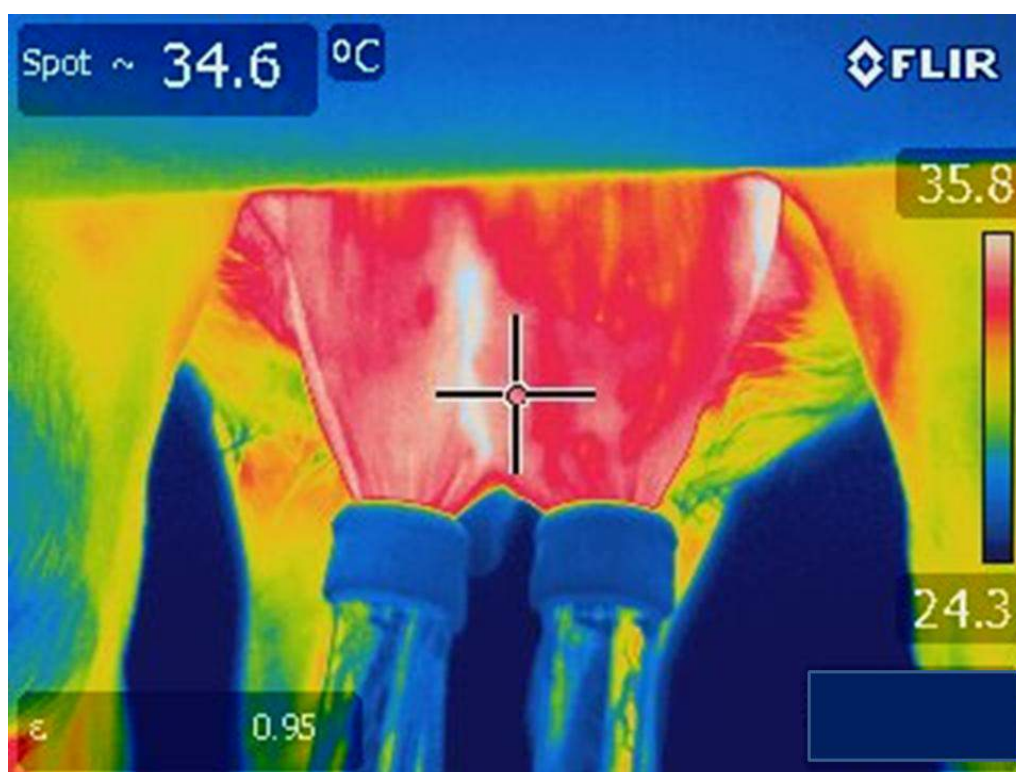


Figura 6. Imagen termográfica de la ubre de búfala durante el ordeño mecanizado, útil para determinar procesos inflamatorios. La producción de leche de búfalos de agua en América es reducida con aproximadamente el 12.7% del total de la producción mundial por año, ya que muchos países de América han privilegiada la leche y carne de vacunos (Zava, 2009). El principal productor de leche de búfalo en América es Estados Unidos seguido por Brasil, en el cual se han valorado los efectos de los sistemas de producción sobre la calidad de la leche de búfalo (Barbosa et al., 2007).

ACTUALIDADES DEL QUESO MOZZARELLA

Uno de los quesos con mayor producción y difusión a lo largo del mundo es el mozzarella, que es precisamente uno de los subproductos de la leche de búfala más desarrollados, debido a su elevado contenido en grasas y ácidos grasos esenciales (Guizar et al., 2019; Zicarelli, 2004). A lo largo de los años se han implementado diferentes estudios para analizar la calidad (sabor, textura, apariencia

y propiedades nutricionales) del queso mozzarella, siendo lógicamente Italia uno de los países con más investigaciones registradas en este ámbito, dado que una gran proporción de la leche producida en ese país se transforma en este tipo de queso (Pauciullo y Lannuzzi, 2017).

Sabia et al. (2019), partiendo del conocimiento de que los rasgos de este subproducto dependen de la especie, el régimen alimenticio, las condiciones ambientales y el sistema de producción, evaluaron el efecto de dos dietas, la primera a base de heno (RH) y la segunda con ensilado de raigrás (WRS) sobre los compuestos orgánicos volátiles del queso mozzarella producido en Italia. Los resultados arrojaron que tanto las características composicionales como las propiedades de textura y olor del queso variaron en función de la dieta suministrada. El queso mozzarella de las búfalas que fueron alimentadas con WRS presentó un porcentaje más elevado de grasa (29.25), proteína (16.59) y materia seca (48.69) que las búfalas que recibían RH. Al valorar la textura del queso se detectaron niveles más altos de viscosidad y elasticidad en el queso mozzarella de las búfalas alimentadas con RH, lo cual puede asociarse con el menor porcentaje de grasa, pues conforme se eleva el contenido de grasa, mejora la suavidad y la capacidad de fusión del queso (Stevens y Shah, 2002). Respecto al perfil aromático, se captó que los terpenos, como el linalol, y aldehídos, como el nonanal, resultaron más abundantes en el queso derivado de los animales alimentados con WRS, ambos componentes volátiles responsables del olor a cítricos y el sabor

característico, respectivamente, del mozzarella; lo cual concuerda con la detección de una menor intensidad del olor herbáceo en el queso obtenido de las búfalas alimentadas con RH.

También se ha investigado el efecto de administrar otros ingredientes en la dieta de las búfalas lecheras, tal es el caso de Taticchi et al. (2017), quienes estudiaron las consecuencias de suministrar orujos secos de aceitunas deshuesadas (DSOP) en la dieta de búfalas mediterráneas lactantes sobre el rendimiento y las características dietético-sensoriales del queso mozzarella. Los resultados revelaron que no hubo diferencia significativa entre el grupo control y al que se le administró (DSOP) en cuanto al rendimiento estimado de queso mozzarella (2.23 y 2.25 kg/d, respectivamente). Sin embargo, se observó que el queso producido a partir de la leche de búfalas en el grupo experimental (grupo DSOP) registró un porcentaje significativamente mayor de grasa (26.06 vs 25.24%), así como un nivel más bajo de ácidos grasos saturados (77.69 vs 71.63%) y un mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados y monoinsaturados (28.37 Vs. 22.31%; 24.65 Vs. 18.77%), lo cual coincidió con índices aterogénicos y trombogénicos más bajos (3.68 vs 4.95; 3.14 vs 3.68). Respecto a la evaluación sensorial, en ambos grupos la puntuación fue positiva (color blanco perlado, corteza lisa, buena compactación, olor láctico, textura suave y jugosa, y una sensación de sabor dulce), demostrando así que la adición de DSOP no causa efectos negativos en las propiedades sensoriales del queso y que, incluso, eleva su valor saludable, pues los índices

aterogénicos y trombogénicos bajos se vinculan con una reducción en el riesgo de padecer una cardiopatía coronaria.

En otra investigación, Uzun et al. (2018), indagaron el efecto de incluir sorgo fresco en la dieta de búfalas lactantes sobre las propiedades del queso mozzarella; no encontraron diferencia en el perfil de ácidos grasos del queso producido a partir de la leche del grupo control con el grupo al que se le administró 10 kg de sorgo fresco; sin embargo, el queso proveniente de la leche del grupo al que se le administró 20 kg de sorgo fresco presentó altos niveles de ácidos grasos mono y poliinsaturados, niveles bajos de ácidos grasos saturados y un mejor valor del índice aterogénico. También se reportó mayor suavidad y jugosidad en el queso del grupo al que se le administró 20 kg de sorgo fresco. Por lo tanto, estos autores concluyeron que al administrar 20 kg de forraje fresco en la dieta de las búfalas lactantes puede resultar en una estrategia de bajo costo que incide en las propiedades del queso mozzarella, mejorando la aceptación de los consumidores.

De igual forma, en Italia se ha evaluado el efecto de las variaciones estacionales (verano Vs. invierno) en la composición y calidad del queso mozzarella de búfalo mediterráneo italiano. Ranucci et al. (2016) reportaron diferencias significativas en el color: el queso producido en invierno es más oscuro y menos amarillo que el que se obtiene en verano, lo cual se atribuye a las diferencias en la composición de la leche, pues el contenido de agua fue más elevado en el invierno. En concordancia con lo anterior, se indicó que el

queso obtenido en invierno contenía más humedad, lo que influyó en la evaluación sensorial, dado que los consumidores mostraron preferencia por los quesos producidos en esta estación.

En Pakistán, Gulzar et al. (2019) tras estudiar la influencia del pH, el almacenamiento en la calidad (color, textura y apariencia) y el perfil de ácidos grasos del queso Mozzarella, reportaron que la blancura disminuyó significativamente a medida que se prolongaba el tiempo de almacenado y, a la par, disminuyó el pH (de 5.2 a 4.9). Referente a la textura, la dureza decreció conforme bajaba el pH, por la disociación de la red de caseína que se generó. De manera similar, la puntuación de la apariencia fue mayor en la medida que se reducía el pH, pero mermó con el aumento del período de almacenaje. Contrario a lo antes expuesto, los autores reportaron que el pH influyó de manera reducida en el perfil de ácidos grasos, mientras que el tiempo incidió significativamente (los ácidos grasos saturados aumentaron y los insaturados disminuyeron, demostrando así que los últimos son químicamente más sensibles), pues el uso de empaques que cuentan con una reducida barrera contra el aire y la luz al parecer favoreció la oxidación del queso, lo cual genera un efecto nocivo para la salud y cierto rechazo por parte de los consumidores. También se ha investigado la relación de parámetros genéticos y fenotípicos con el rendimiento del queso mozzarella (MCY), el cual se estimó con la producción total de leche (MY) y el porcentaje de grasa (FP) y proteína (PP). En ese sentido destaca el estudio realizado por Campos et al. (2007) que se planteó con el objetivo de dilucidar si

algunos de los rasgos analizados (MCY, FP y PP) en 13 granjas podrían ser considerados en un programa de cría en Brasil. Los autores develaron que existe una variabilidad genética moderada-elevada en los rasgos relacionados con la composición de la leche (FP y PP), mientras que en el MCY la variabilidad fue de moderada a baja. Sin embargo, en el caso del MCY, apreciaron que el valor de heredabilidad (0.14) fue similar al reportado en búfalos italianos (Rosati y Van Vleck, 2002). Se estimó una elevada correlación (0.85-1.00) genética y ambiental entre la MY y el MCY, lo que sugiere que ambos rasgos suelen estar determinados por el mismo grupo de acción genética aditiva. En contraste, se descubrió una asociación genética baja y positiva entre el MYC y el PP y FP (0.14 y 0.06, respectivamente). Por lo tanto, se esperaría alcanzar mejores resultados en el MCY tras proceder a una selección indirecta tomando en cuenta la MY; no obstante, los autores proponen que se analice la ecuación utilizada para calcular el MCY, pero bajo las condiciones de Brasil. Para mayores detalles de la calidad del queso Mozzarella, inocuidad y propiedades sensoriales, consulte la sección de “Calidad del producto”.

CONSIDERACIONES FINALES

Conforme se ha valorado la importancia del búfalo en el plano internacional, se ha actualizado la estadística disponible y se ha ampliado el número y la variedad de investigaciones sobre esta

especie, que están revelando tanto las potencialidades como las restricciones de los búfalos de agua como productores de leche. Estos avances se han concentrado en la producción primaria, pero paulatinamente están tomando relevancia los dedicados a estudiar el procesamiento y calidad de la leche, especialmente en países como India e Italia, que procesan amplios volúmenes de leche y, en el segundo país, con programas de mejoramiento genético que consideran rasgos de selección que aseguren la alta calidad y el rendimiento en la elaboración de productos como el queso mozzarella, que detenta amplio reconocimiento en el ámbito internacional. Sin embargo, se mantiene la necesidad de ampliar y ahondar las investigaciones en diferentes latitudes, caracterizando los sistemas de producción bufalinos, las condiciones físico bióticas en las que se desarrollan, así como aquellas que permitan evaluar las diferentes razas, las distintas etapas reproductivas y edades, el efecto de cada dieta, así como las instalaciones y el equipo con los que se generan microambientes para los animales, ya que son factores que inciden en la eficiencia productiva, el bienestar animal, el rendimiento y la calidad de la leche de esta especie.

En ese sentido, en este documento se ha priorizado la revisión de resultados relevantes en cuanto a cuantificar y ubicar el inventario de búfalos en el mundo, destacando su concentración en el continente asiático, pero también la rápida evolución que recientemente está experimentando en diferentes latitudes, destacando la dinámica del continente americano. También se ha puesto en valor una amplia

variedad de razas con aptitud lechera, que han demostrado su eficiencia en distintos contextos, aunque va quedando cada vez más claro que las comparaciones con el ganado vacuno sirven de referencia, pero responden a criterios y características diferentes.

También se ha develado que en el refinamiento de los diagnósticos reproductivos radica una de las áreas de oportunidad más importantes en el conocimiento de los búfalos, pues hasta ahora este tipo de manejo se ha apegado al de los vacunos y cada vez se han manifestado diferencias esenciales, que están conduciendo a delinear un manejo reproductivo específico para los búfalos, para lo cual se han instrumentado varias investigaciones, las cuales también se deben proseguir y profundizar en el futuro.

En relación a los aspectos de la salud animal, los búfalos también denotan peculiaridades que han resaltado la rusticidad de este tipo de ganado y la resistencia que han demostrado respecto a diferentes enfermedades, sin embargo, son susceptibles de adquirir algunas de ellas y, por ello, es importante diagnosticar los mecanismos de prevención que se deben privilegiar, especialmente en la producción de leche, en aras de preservar y elevar tanto los rendimientos como la calidad de este líquido.

En efecto, las cualidades de la leche de búfala han representado uno de los rasgos más relevantes de este tipo de ganado, dado que contiene alto porcentaje de sólidos totales y, por ende, un rendimiento quesero elevado respecto a la leche de vacunos. Además, el potencial lechero de los búfalos se ha fomentado en

diferentes climas, especialmente en los cálidos y húmedos, en los que este tipo de ganado ha mostrado un desempeño sobresaliente. En lo concerniente al queso mozzarella u otros similares, aún hace falta desarrollar más estudios para terminar de comprender todos los factores involucrados en la calidad del producto y para definir los estándares de calidad nutrimental y bacteriológica del queso, pues se ha demostrado que, de acuerdo al clima, la raza, el sistema de producción y el tipo de alimentación, entre otras, se generan variaciones importantes. De manera específica, los cambios en la dieta y el uso de aditivos naturales, tienden a elevar los niveles nutricionales además de favorecer un sabor agradable de la leche de búfala y, al mismo tiempo, puede potenciar su consumo en un público más amplio. Algo similar ocurre con los empaques que se utilizan para almacenarlos; conocimiento que resulta útil para lograr que el queso producido preserve las características deseadas: suavidad, jugosidad y un sabor ligeramente ácido y fresco (Sabia et al., 2019).

En este contexto, se van delineando las líneas de investigación que se deberían privilegiar en el futuro, para avanzar en caracterizaciones más precisas en diferentes contextos, a partir de las cuales se pueda afinar la gestión y manejo de los hatos bubalinos, dado que tienen potencial tanto para mejorar sus niveles de eficiencia actual, así como fortalecer producciones con mejoras sustanciales en cuanto a sustentabilidad, bienestar animal, niveles de productividad y

rentabilidad así como en la calidad y sabor de la leche y sus derivados.

REFERENCIAS

- Almaguer, P.Y.Y., 2007. El búfalo, una opción de la ganadería. REDVET Rev. Electrónica Vet. 8, 1-23.
- Barbosa, S.B., Pereira, R.G., Santoro, K.R., Batista, A.M., Neto, R., 2007. Milk yield of cross-bred buffalo under two production systems in the Amazonian region of Brazil. Ital. J. Anim.Sci. 6(2), 1071-1074. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.1071>
- Barile, V., 2005. Improving reproductive efficiency in female buffaloes. Livest. Prod. Sci. 92, 183-194. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.06.014>
- Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Morales, A., Orozco, C.C., Mota-Rojas, D., 2019a. Capítulo 7. Los sistemas de producción de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Bertoni, A., Álvarez, A., Mota-Rojas, D., 2019b. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. Soc. Rur. Prod. Med. Amb. 19 (38), 59-80.
- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J.,

- Legarreta, I.G.-, 2020. Similarities and Differences between River Buffaloes and Cattle : Health , Physiological , Behavioral and Productivity Aspects 92–109.
- Bertoni, A., Mota-Rojas, D.; Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I. et al. 2020b. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. J. Anim. Behav. Biometeorol. 8:288-297. doi.org/10.31893/jabb.20038
- Borghese, A., Mazzi, M., 2005. Buffalo population and strategies in the world, in: Borghese, A. (Ed.), Buffalo Production and Research. FAO, Rome, pp. 1-39.
- Boselli C., Mazzi M., Borghese A., Terzano G.M., Giangolini G., Filippetti F., Amatiste S, Rosati R., 2010. Milk flow curve and teat anatomy in mediterranean italian buffalo cows. Revista Veterinaria 21:573-578.
- Calderón, A., Tique, V., Ensuncho, C., Rodriguez, V., 2010. Seroprevalencia de *Brucella abortus* en búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) en el municipio de Lorica, Córdoba. Rev. U.D.C.A Actual. Divulg. Científica 13, 125–132. <https://doi.org/10.31910/rudca.v13.n2.2010.740>
- Campanile, G., Neglia, G., Michael, J., 2016. Embryonic and fetal mortality in river buffalo (*Bubalus bubalis*). Theriogenology. 86, 207-213. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.033>

- Campos, R.V., Jun I.Y. M., Seno, L.O., Sesana, R.C., Aspilcueta-Borques, R.R., Tonhati, H., 2007. Genetic parameters estimate for milk and mozzarella cheese yield, fat and protein percentage in dairy buffaloes in Brazil. *Ital. J. Anim. Sci.* 6, 360–363. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.360>
- Cockrill, W.R., 1981. The Water Buffalo: A Review. *Br. Vet. J.* 137, 8–16. [https://doi.org/10.1016/S0007-1935\(17\)31782-7](https://doi.org/10.1016/S0007-1935(17)31782-7)
- Condoleo, R.U., Veneziano, V., Bruni, G., Santaniello, M., Carbone, S., Pennacchio, S., Rinaldi, L., Cringoli, G., 2007. Distribution of helminths in buffalo farms from central Italy. *Ital. J. Anim. Sci.* 6, 920–922. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.920>
- Crudeli, G.A., Konrad, J.L., Patiño, E.M., 2016. Reproducción en búfalas, first ed. Moglia, Argentina.
- Das, M., Deka, D.K., Sarmah, A.K., Sarmah, P.C., Islam, S., 2018. Gastrointestinal parasitic infections in cattle and swamp buffalo of Guwahati, Assam, India. *Indian J. Anim. Res.* 52. <https://doi.org/10.18805/ijar.B-3427>
- Deb, G.K., Nahar, T.N., Duran, P.G., Presicce, G.A., 2016. Safe and sustainable traditional production: The water buffalo in Asia. *Front. Environ. Sci.* <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00038>
- De Carvalho, N.A., Soares, J.G., Baruselli, P.S., 2016. Strategies to overcome seasonal anestrus in water buffalo. *Theriogenology*. 86, 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.032>

- De Graves, F. J., Fetrow, J., 1993. Economics of mastitis and mastitis control, Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract. 9, 21–34.
- De Rosa, G., Grasso, F., Winckler, C., Bilancione, A., Pacelli, C., Masucci, F., Napolitano, F., 2015. Application of the Welfare Quality protocol to dairy buffalo farms: Prevalence and reliability of selected measures. J.Dairy Sci. 98, 6886-6896. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9350>
- D'Occhio, M.J., Ghuman, S.S., Neglia, G., Della-Valle, G., Baruselli, P.S., Zicarelli, L., Visintin, J.A., Sarkar, M., Campanile, G., 2020. Exogenous and endogenous factors in seasonality of reproduction in buffalo: A review. Theriogenology 150, 186-192. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.01.044>
- Esposito, M., Miedico, O., Cavallo, S., Pellicanò, R., Rosato, G., Baldi, L., Chiaravalle, A. 2017. Trace elements in raw milk of buffaloes (*Bubalus bubalis*) from Campania, Italy. Food Chem. 233, 378-384. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.124>
- Fagiolo, A., Lai, O., 2007. Mastitis in buffalo. Ital. J. Anim. Sci. 6, 200–206. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.200>
- Fahy, G.M., MacFarlane, D., Angell, C.A., Meryman, H., 1984. Vitrification as an approach to cryopreservation. Cryobiology. 21, 407-426. [https://doi.org/10.1016/0011-2240\(84\)90079-8](https://doi.org/10.1016/0011-2240(84)90079-8)
- FAO-FEPALE, 2012. Situación de la Lechería en América Latina y el Caribe en 2011, Observatorio de la Cadena Lechera. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, División de Producción y Sanidad Animal. 1- 69.

- FAO, 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Databases FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA> (accessed 09 Jun 2020).
- Fareed, S.K., Memon, K.H., Kachiwal, A.B., Azhar, S., Brula, M.I., Mehmood-ul-Hasan, Ali, M., Khan, T.A., 2017. Prevalence and economic losses of reproductive disorders and mastitis in buffaloes at Karachi, Pakistan. *Indian J. Anim. Res.* 51, 1130–1133. <https://doi.org/10.18805/ijar.8602>
- Fosgate, G.T., Diptee, M.D., Ramnanan, A., Adesiyun, A.A., 2011. Brucellosis in domestic water buffalo (*Bubalus bubalis*) of Trinidad and Tobago with comparative epidemiology to cattle. *Trop. Anim. Health Prod.* 43, 1479–1486.
- Galiero, G., 2016. Causes of infectious abortion in the Mediterranean buffalo. *Ital. J. Anim. Sci.* 6, 194-199. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.194>
- Guha, A., Gera, S., Sharma, A., 2012. Evaluation of Milk Trace Elements, Lactate Dehydrogenase, Alkaline Phosphatase and Aspartate Aminotransferase Activity of Subclinical Mastitis as an Indicator of Subclinical Mastitis in Riverine Buffalo (*Bubalus bubalis*). *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 25, 353–360. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11426>
- Gulzar, N., Rafiq, S., Nadeem, M., Imran, M., Khalique, A., Sleem, I.M., Saleem, T., 2019. Influence of milling pH and storage on quality characteristics, mineral and fatty acid profile of buffalo

- Mozzarella cheese. *Lipids Health Dis.* 18, 33.
<https://doi.org/10.1186/s12944-019-0976-9>
- Hortet, P.; Seegers, H., 1998. Calculated milk production losses associated with elevated somatic cell counts in dairy cows: review and critical discussion, *Vet. Res.* 29, 497–510.
- Jingar, S.C., Mehla, R.K., Singh, M., Kumar, A., Kantwa, S.C., Singh, N., 2014. Comparative study on the incidence of mastitis during different parities in cows and buffaloes. *Indian J. Anim. Res.* 48, 194–197. <https://doi.org/10.5958/j.0976-0555.48.2.040>
- Khedkar, C.D., Kalyankar, S.D., Deosarkar, S.S., 2016. Buffalo milk, in: Caballero, B., Finglas, P.M., Toldrá, F. (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health*, UK, pp. 522-528.
- Lázaro de la Torre, C., Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F; Serrapica, F., Cruz-Monterrosa R., Mota-Rojas, D., 2019. Capítulo 24. Propiedades fisicoquímicas de la leche de búfala. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). *El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales* (p. 820-841), Segunda edición. México, BM Editores.
- Martínez, A., Ray, J., López, R.G., Benítez, D., Guevara, O., 2009. Comportamiento de algunos indicadores productivos y reproductivos del búfalo de río en la provincia Granma. Cuba. *J. Agric. Sci.* 43, 127-130.
- Martínez, G. M., Suarez, V. H., Ghezzi, M.D., 2016. Bienestar animal en bovinos de leche: selección de indicadores vinculados a la salud y producción. *Rev. Invest. Agropec.* 42, 153 – 160.

- Mingala, C.N., Gundran, R.S., 2008. Assessment of water buffalo health and productivity in a communal management system in the Philippines. *Trop. Anim. Health Prod.* 40, 61–68. <https://doi.org/10.1007/s11250-007-9054-9>
- Mingala, C.A., Villanueva, M.A., Cruz, L.C., 2017. River and swamp buffaloes: History, distribution and their characteristics, in: Presicce, G.A. (Ed.), *The buffalo (*Bubalus bubalis*) production and research*. Bentham eBooks, Sharjah, pp. 3-31.
- Moioli, B., 2005. Breeding and selection of dairy buffaloes, in: Borghese, A. (Ed.), *Buffalo Production and Research*. FAO, Rome, pp. 41-50.
- Moioli, B., Borghese, A., 2005. Buffalo breeds and management systems, in: Borghese, A. (Ed.), *Buffalo Production and Research*. FAO, Rome, pp. 51-76.
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., & Guerrero-Legarreta, I. Napolitano F., 2019a. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 14(035). <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>
- Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Napolitano, F., Serrapica, F., De Rosa G. et al. 2019b. Capítulo 9. La búfala de agua durante el parto y ordeño: respuestas fisiológicas y conductuales. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). *El búfalo de agua en las Américas*,

enfoques prácticos y experimentales (p. 154-191), Segunda edición. México, BM Editores.

Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Napolitano, F., Serrapica, F., De Rosa G. et al. 2019c. Capítulo 9. La búfala de agua durante el parto y ordeño: respuestas fisiológicas y conductuales. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 154-191), Segunda edición. México, BM Editores.

Napolitano, F., Pacelli, C., Grasso, F., Braghieri, A., De Rosa, G., 2013. The behaviour and welfare of buffaloes (*Bubalus bubalis*) in modern dairy enterprises. *Animal* 7, 1704-1713. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001109>

Napolitano, F., De Rosa, G., Braghieri, A., Álvarez-Macías, A., Bertoni A., Serrapica, F., 2019. Capítulo 5. Hallazgos recientes sobre la búfala lechera: inventario animal, razas, aspectos reproductivos, de salud y calidad. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 154-191), Segunda edición. México, BM Editores.

Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Braghieri, A., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Cruz-Monterrosa, R., De Rosa, G., 2020. Factores Productivos y su incidencia en el bienestar de la búfala lechera en sistemas de producción extensivos e intensivos. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 20, (40), 155-173.

- Nyman, A. K., Emanuelson, U., Gustafsson, A.H., Persson Waller, K. 2009. Management practices associated with udder health of first-parity dairy cows in early lactation. *Prev. Vet. Med.* 88: 138–49.
- Ojeda-Robertos, N.F., Torres-Chablé, O.M., Peralta-Torres, J.A., Luna-Palomera, C., Aguilar-Cabrales, A., Chay-Canul, A.J., González-Garduño, R., Machain-Williams, C., Cámara-Sarmiento, R., 2017. Study of gastrointestinal parasites in water buffalo (*Bubalus bubalis*) reared under Mexican humid tropical conditions. *Trop. Anim. Health Prod.* 49, 613–618. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1237-4>
- Ozenc, E., Bozkurt, M. F., Yazici, E., Seker, E., Bayraktaroglu, A. G., Ozcinar, U., & Dogan, N., 2020. Teat characteristics in relation to animal temperament during milking in buffaloes, and comparison of buffalo and cow teat morphology. *Reprod. Domest. Anim.* 55:559–566. doi:10.1111/rda.13650
- Paradiso, R., Orsini, M., Criscuolo, D., Borrelli, R., Valvini, O., Cammà, C., Chiusano, M.L., Galiero, G., Borriello, G., 2018. Complete Genome Sequencing of 10 *Brucella abortus* Biovar 3 Strains Isolated from Water Buffalo. *Genome Announc.* 6, e00180-18. <https://doi.org/10.1128/genomeA.00180-18>
- Patel, A.S., Bariya, A.R., Ghodasara, S.N., Chavda, J.A., Patil, S.S., 2020. Total carotene content and quality characteristics of pumpkin flavoured buffalo milk, *Heliyon*, 6(7) 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04509>

- Patel, R. S., and Mistry, V.V. 1997. Physicochemical and Structural Properties of Ultrafiltered. J. Dairy Sci. 80, 812–817.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76002-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76002-8)
- Patiño E.M., 2009. El búfalo. Leche bubalina: producción mundial. Comparación con la leche bovina. Alimentos funcionales derivados de la leche. Revista Argentina de Producción animal, 1-6.
- Patiño, E.M., Crudeli, G.A., Mitat-Valdés, A., 2016. Origen, Distribución y Razas, in: Crudeli, G.A, Konrad, J.L., Patiño, E.M. (Eds.), Reproducción en Búfalas. Moglia, Argentina, pp. 27-36.
- Parnpai, R., Liang, Y., Ketudat-Cairns, M., Somfai, T., Nagai, T., 2016. Vitriification of buffalo oocytes and embryos. Theriogenology. 86, 214-220.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.034>
- Pauciullo, A., Iannuzzi, L., 2017. Molecular genetics and selection in dairy buffaloes: The italian situation, in: Presicce, G.A. (Ed.), The buffalo (*Bubalus bubalis*) production and research. Bentham eBooks, Sharjah, pp. 50-68.
- Perera, B., 2011. Reproductive cycles of buffalo. Anim. Reprod. Sci. 124, 194-199.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.08.022>
- Polihrnov, D., Aleksiev, A., 1979. Buffalo Breeding in the People's Republic of Bulgaria. National Agroindustrial Union Center for Scientific, Technical and Economic Information, Sofia, p. 64.

- Ranucci, D., Garofalo, A., Urbani, E., Rea, S., Loschi, A.R., Stocchi, R., Miraglia, D., Branciarri, R., 2016. Seasonal variations of Italian Mediterranean Buffalo (*Bubalus bubalis*) Mozzarella cheese quality. J. Dairy Res. 83, 476–478. <https://doi.org/10.1017/S0022029916000649>
- Restucci, B., Dipineto, L., Martano, M., Balestrieri, A., Ciccarelli, D., Russo, T.P., Varriale, L., Maiolino, P., 2019. Histopathological and microbiological findings in buffalo chronic mastitis: evidence of tertiary lymphoid structures. J. Vet. Sci. 20. <https://doi.org/10.4142/jvs.2019.20.e28>
- Rosati, A., Van Vleck, L. D., 2002. Estimation of genetic parameters for milk, fat, protein and mozzarella cheese production in the Italian river buffalo population. Livest. Prod. Sci. 74, 185–190. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00293-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00293-7)
- Sabia, E., Gauly, M., Napolitano, F., Cifuni, G.F., Claps, S., 2019. The effect of different dietary treatments on volatile organic compounds and aromatic characteristics of buffalo Mozzarella cheese. Int. J. Dairy Technol. 73, 594–603. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12696>
- Saleem, Y., Nazir F, Zaman, T., 2013. Prevalence and antibacterial susceptibility in mastitis in buffalo and cow in district lahore-pakistan. Buffalo Bull. 32, 307–314.
- Selokar, N.L., 2018. Cloning of breeding buffalo bulls in India: Initiatives & challenges. Indian J. Med. Res. 148, S120-s124. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_2103_17

- Sharif, A., Umer, M., Ahmad, T., 2014. Parasitic control in dairy buffaloes. *Int. J. Agric. Innov. Res.* 2, 967–970.
- Shelke, S.K., Thakur, S.S., Amrutkar, S.A. 2012. Effect of feeding protected fat and proteins on milk production, composition and nutrient utilization in Murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Anim. Feed Sci. Tech.* 171(2–4), 98-107. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.10.003>
- Sheth, A., Wadadekar, K., Moodbidri, S., Janakiraman, K., Parameswaran, M., 1978. Seasonal alteration in the serum prolactin and LH levels in the water buffaloes. *Curr. Sci.* 75-77.
- Sirisha, K., Selokar, N., Saini, M., Palta, P., Manik, R., Chauhan, M., Singla, S., 2013. Cryopreservation of Zona-Free Cloned Buffalo (*Bubalus Bubalis*) Embryos: Slow Freezing vs Open-Pulled Straw Vitrification. *Reprod. Domestic Anim.* 48, 538-544. <https://doi.org/10.1111/rda.12122>
- Sogstadet, A.M., Osterås, O., Fjeldaas, T., 2006. Bovine claw and limb disorders related to reproductive performance and production diseases. *J. Dairy Sci.* 89, 2519–2528.
- Soto Opazo D.A., 2014. Evaluación de las características morfológicas de pezones, en vacas lecheras de los principales genotipos y sistemas productivos utilizados en Chile. Búsqueda en internet del 22/06/2020: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/132035/Evaluaci%3bn-de-las-caracter%3adsticas-morfol%3bgicas-de-pezones%2c-en-vacas-lecheras-de-los>

principales-genotipos-y-sistemas-productivos-utilizados-en-Chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Stevens, A., Shah, N.P., 2002. Textural and melting properties of Mozzarella cheese made with replacers. *Milchwissenschaft*. 51, 387–390.
- Taticchi, A., Bartocci, S., Servili, M., Di Giovanni, S., Pauselli, M., Mourvaki, E., Zilio, D. M., Terramoccia, S., 2017. Effect on quanti-quality milk and mozzarella cheese characteristics with further increasing the level of dried stoned olive pomace in diet for lactating buffalo. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 30, 1605–1611. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0767>
- Tripaldi, C., Palocci, G., Miarelli, M., Catta, M., Orlandini, S., Amatiste, S., Bernardini, R. Di, Catillo, G., 2010. Effects of Mastitis on Buffalo Milk Quality. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 23, 1319–1324. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.90618>
- Uzun, P., Masucci, F., Serrapica, F., Napolitano, F., Braghieri, A., Romano, R., Manzo, N., Esposito, G., Di Francia, A., 2018. The inclusion of fresh forage in the lactating buffalo diet affects fatty acid and sensory profile of mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.* 101, 6752–6761. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14710>
- Zava, M., 2009. The buffalo in Southern South America. *Ital. J. Anim. Sci.* 6, 172–178. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.172>
- Zava, M.A., Sansinena, M., 2017. Buffalo dairy production: A review. Production and research, in: Presicce, G.A. (Ed.), *The buffalo*

(*Bubalus bubalis*) production and research. Bentham eBooks, Sharjah, pp. 225-261.

Zicarelli, L., 2004. Buffalo milk: its properties, dairy yield and mozzarella production. Vet. Res. Commun. 1, 127–135.
<https://doi.org/10.1023/B:VERC.0000045390.81982.4d>

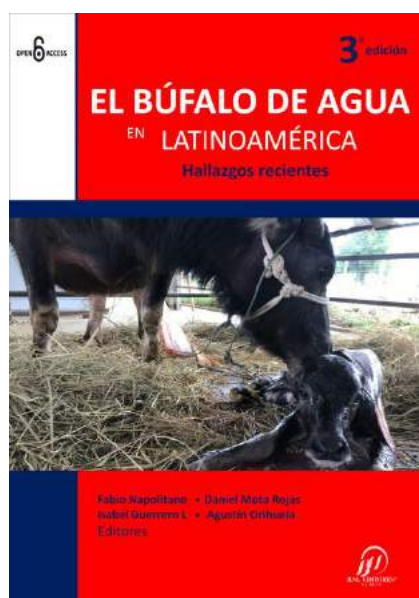
Zotos, A., Bampidis, V.A. 2014. Milk fat quality of Greek buffalo (*Bubalus bubalis*). J. Food Compos. Anal. 33(2), 181-186.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.12.004>



CAPÍTULO 8

EL BÚFALO DE AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE CARNE: UNA VISIÓN INTERNACIONAL

Isabel Guerrero-Legarreta, Daniel Mota-Rojas, Fabio Napolitano, Marcelo Daniel Ghezzi, Patricia Mora-Medina, José Luis Otero, Aldo Bertoni, Mauricio David Díaz, José Rodolfo Panim Ciocca, Ramiro Ramírez-Necoechea, Salvador Flores-Peinado, Marcelo Oscar Ballerio, Brenda Reyes Sotelo, Isabel Escobar-Ibarra y Adolfo Álvarez-Macías



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 8

El búfalo de agua en la producción de carne: una visión internacional

Isabel Guerrero-Legarreta¹, Daniel Mota-Rojas², Fabio Napolitano³, Marcelo Daniel Ghezzi⁴, Patricia Mora-Medina⁵, José Luis Otero⁶, Aldo Bertoni², Mauricio David Díaz⁴, José Rodolfo Panim Ciocca⁷, Ramiro Ramírez-Necoechea², Salvador Flores-Peinado⁵, Marcelo Oscar Ballerio⁴, Brenda Reyes Sotelo², Isabel Escobar-Ibarra² y Adolfo Álvarez-Macías²

¹Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-I. Ciudad de México. México.

²Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.

³Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

⁴Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

⁵Departamento de Ciencias Pecuarias, FESC. Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM. México.

⁶Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Argentina

⁷Gerente de la "Humane Sustainable Agriculture" y de la "World Animal Protection Latinoamérica". Brasil.

INTRODUCCIÓN

Los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) forman parte del grupo de los grandes rumiantes y son trascendentes desde el punto de vista económico y social, ya que contribuyen en los medios de vida de millones de seres humanos como fuente de alimentos (leche, carne y derivados), fuerza de tiro, transporte y estiércol en varios países en desarrollo de Asia, en especial en la India (Naveena y Kiran 2014; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b,c,d; 2020a,b; Álvarez-Macías, 2020; Alarcón-Rojo et al., 2020; Napolitano et al., 2020; Cruz-Monterrosa et al., 2020), Europa, África y América.

En lo que respecta al inventario de búfalo de agua en el mundo en 2019 sobresale la India, con 109.8 millones de cabezas, que representan el 53.7% de la población mundial, seguida de Pakistán con aproximadamente 40 millones y China con 27.3 millones (FAOSTAT, 2021). De acuerdo con datos de 2017, citados durante el IX Simposio de Criadores de búfalos de América y Europa, América cuenta con el alrededor del 4% de la población mundial de búfalos, con aproximadamente 9.3 millones de cabezas. Entre los países con mayor producción bubalina del continente Americano, figuran Brasil con 3.500.000 cabezas, Venezuela con 350.000 bubalinos, Colombia con 150.000 , Argentina y México. En Argentina la población de bubalinos ha crecido notablemente, mientras que México cuenta con una población de 120.000 animales para consumo humano. En Argentina los datos oficiales de existencia de búfalos estimaron 87.711 cabezas en 2014 y 130.000 en 2018, mientras que hoy se calcula que hay aproximadamente 200.000 cabezas (Travaini et al., 2019; Crudeli et al., 2020). En especial, América Latina se encuentra frente a un doble desafío, por un lado, acrecentar el inventario de ganado Bubalino con producción de animales que tengan la faena como destino final y, por otro lado, utilizar cada vez más tierras que han estado desaprovechadas.

En los últimos años en muchas regiones del planeta la producción de ganado bubalino ha avanzado, adquiriendo mayor relevancia, en especial en aquellas zonas donde resulta costoso producir razas vacunas tradicionales. Entre los ambientes con alta aptitud para la cría

de búfalos se encuentran los humedales, particularmente los fluviales, que tienen alta disponibilidad de agua, aunque también utilizan bosques ribereños. Debido a que el búfalo tolera ambientes con exceso de agua en donde otro tipo de ganado no se desarrolla bien, se destaca la oportunidad que tiene su producción en ambientes donde la ganadería tradicional requiere de infraestructura que implica grandes costos y modifica negativamente la integridad ecológica de estos ecosistemas (Travaini et al., 2019).

Es importante resaltar que la producción bubalina genera un rendimiento de bajo costo por cabeza o kg de carne producido, particularmente mediante sistemas pastoriles. La tecnificación estratégica es, en el fondo, un proceso de reducción de costos unitarios, con potencial para mejorar las condiciones del productor para sobrellevar períodos de bajos precios, aunque puede suponer inversiones que no siempre son accesibles para buena parte de los ganaderos (Álvarez-Macías, 2020).

La contribución del búfalo de agua hacia la producción de carne se basa principalmente en su alta eficiencia en la conversión alimenticia (Bertoni et al., 2019a,b; 2020), regulación térmica *sui generis* y métodos de aturdimiento diferentes al ganado bovino tradicional (*Bos*) (Mota-Rojas et al., 2020a,b,c). Es una especie reconocida por alcanzar el peso final para el abasto en periodos de tiempo cortos, incluso, en sistemas basados en pastoreo de baja y mediana intensidad. En este contexto, la capacidad del búfalo para procesar pasturas lignificadas, su prolificidad y longevidad han distinguido al búfalo como un animal

sobresaliente tanto para carne como para la producción de leche de alto valor en cuanto a su composición, lo cual se ve reforzado por su capacidad de superar las diez lactancias en su ciclo de vida (Presicce, 2017; Mota-Rojas et al., 2019d,e,f; Álvarez-Macías, 2020; Bertoni et al., 2020a,b).

En cuanto a los indicadores relacionados con la producción cárnica, el búfalo de agua en sistemas basados en pastoreo muestra una eficiencia destacada, por ejemplo, obtiene pesos al destete de más de 240 kg, intervalos entre partos de 390 días, además de ganancias de peso diarios por arriba de los 0.5 kg. Esto lo ha perfilado como una alternativa relevante para posicionarse con ventaja en la industria cárnica. En efecto, los búfalos de agua presentan indicadores productivos y reproductivos que sobresalen del bovino convencional, lo cual sugiere que estos animales podrían generar un beneficio económico atractivo para una amplia gama de productores (Bertoni et al., 2019a,b; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b,c; Cruz-Monterrosa et al., 2020; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c,).

Por lo anterior, el búfalo destinado a la producción de carne muestra un potencial comercial elevado, ya que las características de la carne responden a los hábitos de consumo más saludables para el humano, por su bajo nivel de grasas, calorías y colesterol así como una mayor proporción de proteínas (Borghese, 2005; Presicce, 2017; Cruz-Monterrosa et al., 2020; Alarcón-Rojo et al., 2020), acompañado de un

menor riesgo, dado que en los búfalos se recurre menos al uso de medicamentos o promotores de crecimiento en comparación con otras especies cárnicas (Borghese, 2005; Presicce, 2017).

En el búfalo la carne la cubierta grasa es predominante, y se concentra en el área subcutánea con pocas infiltraciones en el tejido muscular, a diferencia de los vacunos, en los cuales la grasa se infiltra en el músculo formando el marmoleado típico de la carne. Esto significa que, en el momento del consumo, la grasa de la superficie exterior de la carne de búfalo se desprende fácilmente de la parte magra y la grasa remanente en el corte (o marmoleado) es menor que en vacunos (Tamburrano et al., 2019).

Los proceso post-mortem son muy parecidos a los ocurridos en vacunos del género *Bos*, con un adecuado descenso del pH, buena maduración, con incremento de la ternura y masticabilidad y evolución adecuada del color, ausencia de olores y sabores cuestionables, aunque con menos jugosidad debido al menos tenor de grasa intramuscular (Irurueta et al., 2008). La carne de búfalo es de color rojo oscuro, firme en consistencia y con grasa de color blanco debido a la ausencia de β -carotenos (Kandeeapan et al., 2009). Las características de palatabilidad, fuerza de corte y el puntaje en panel sensorial obtenidos de animales de la misma edad han sido muy similares entre carne de búfalo y de vacuno (Naveena y Kiran, 2014). La carne de búfalo es más o menos similar a la carne vacuna en términos de composición, calidad y características organolépticas. Las

diferencias que provocan que la la carne de búfalo sea atractiva radican en su color rojo oscuro, buen veteado, escaso tejido conectivo, terniza deseable, alto contenido de proteínas, capacidad de retención de agua, índice de fragmentación miofibrilar y capacidad emulsionante. Estas propiedades físico-químicas son fundamentales para el procesamiento de la carne, considerando su idoneidad para el desarrollo de productos con atributos de calidad superior (Kandeean et al., 2013; Guerrero et al., 2019a,b,c; 2020a,b).

Se han investigado las características bioquímicas y nutricionales de la carne de búfalo. Varios investigadores centraron en la evaluación de su contenido en colesterol, ácidos grasos, aminoácidos, vitaminas y minerales. La canal de búfalo tiene una distribución de grasa diferente a la de ganado bovino tradicional (res). La carne de búfalo tienen mayor contenido proteico que la de vacunos, con un buen aporte de aminoácidos esenciales (histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, valina y triptófano) (Naveena y Kiran, 2014; Tamburrano et al., 2019).

Se trata de una carne saludable, con mayor contenido proteico, menor contenido de grasas, especialmente saturadas, mejor relación ácidos grasos poliinsaturados/saturados y más de un 50 % menos calorías que los vacunos. Además de su buen perfil de ácidos grasos, tiene una mejor relación entre ácidos grasos n6 y n3 (7.00) y menos colesterol que la carne vacuna, más un buen aporte de ácido linoleico conjugado

(CLA). Tiene bajos índices aterogénicos y trombogénicos, lo cual puede significar un beneficio cardiovascular para los consumidores. La carne de búfalo puede ser una alternativa más saludable a la carne de vacuno, no solo para personas sanas en condiciones fisiológicas particulares (es decir, embarazo), sino también para personas con riesgo de enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares, logrando así el objetivo de una nutrición personalizada (Giordano et al., 2010; Cutrignelli et al., 2013; Grossi et al., 2013; Naveena y Kiran, 2014; Tamburrano et al., 2019).

Joele et al. (2017) hallaron contenidos en micronutrientes (hierro, cobre, zinc y selenio) por encima de la recomendación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), lo que confirma que 100 g de búfalo la carne abastece las necesidades diarias de estos micronutrientes.

Debido a estas características saludables los productos de carne de búfalo han ganado una creciente popularidad en varios países del sudeste y centroeste de Asia y Africa (Naveena y Kiran, 2014).

Por sus propiedades tecnológicas, la carne de búfalo es apta para la elaboración de productos cárnicos tales como salchichas, hamburguesas, albóndigas, rollos de carnes, nuggets, kebabs, carnes curadas y ahumadas, carne enlatadas y alimentos reestructurados y recubiertos (Anjaneyulu et al., 2007; Naveena y Kiran, 2014).

En la perspectiva de contar con un panorama amplio de los búfalos como productores de carne, el presente capítulo se planteó con el objetivo describir y discutir los hallazgos más trascendentes y recientes en el mundo sobre la producción de carne de búfalo de agua, las características de las razas empleadas, sus indicadores productivos así como sus procesos de salud-enfermedad.

CARACTERIZACIÓN DE LAS RAZAS BUBALINAS EMPLEADAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CARNE

Tradicionalmente el búfalo de agua ha sido domesticado alrededor de todo el mundo con el fin de convertirlo en una especie productora con beneficio para el sector agroalimentario; la especie *Bubalus bubalis* forma parte de la familia *Bovidae* y es reconocida desde hace al menos 4,000 años como una especie domesticada (Lemcke, 2017).

En general, se distinguen dos tipos principales de búfalo: *Bos arnee*, el asiático y *Syncerus caffer*, el africano. El búfalo asiático se divide en dos clases: búfalo de pantano y búfalo de agua (**Figura 1**). La diferencia principal entre las clases taxonómicas de los búfalos reside en la cantidad de cromosomas que contiene su genoma y su distribución geográfica. Generalmente se acepta que los búfalos de agua domesticados *Bubalus bubalis*, incluye dos subespecies: el de río (*Bubalus bubalis bubalis*; $2n = 50$) y el de pantano (*Bubalus bubalis carabensis*; $2n = 48$) (Naveena y Kiran, 2014). A partir de estas clases se derivan variaciones genéticas que han sido aprovechadas con

finalidades específicas en las diferentes regiones en que se han desarrollado (Lind et al., 2008; Naveena y Kiran, 2014).

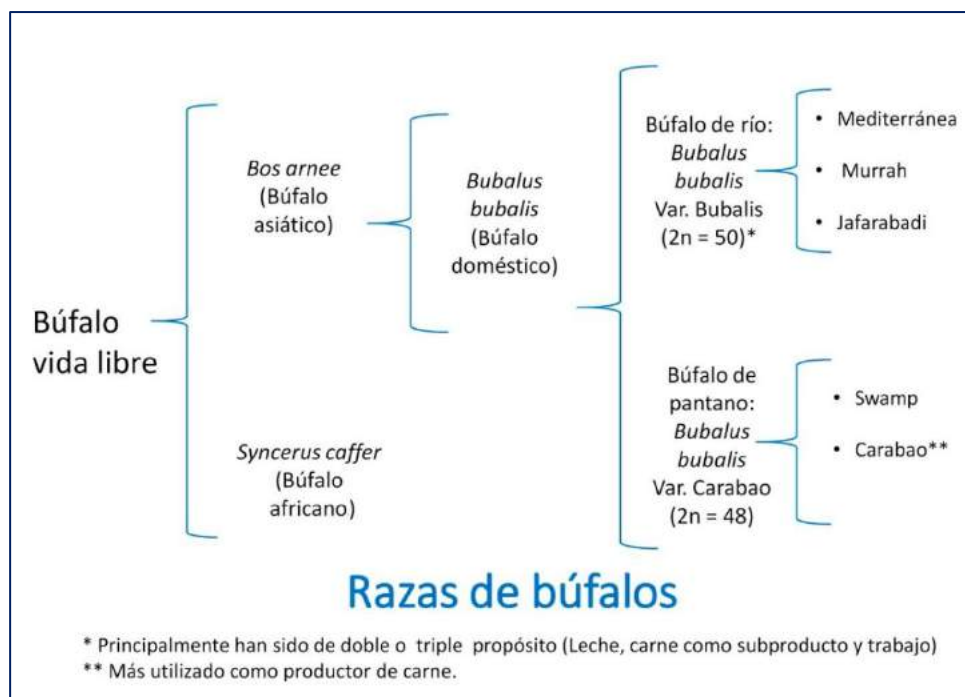


Figura 1. Origen taxonómico de las razas de búfalo. Las razas de búfalo comerciales, derivan del Búfalo de agua y del Búfalo de pantano, sin embargo, *Bubalus bubalis* variedad Bubalis no son razas especializadas en la producción de carne, aunque tienen buena conformación para ese fin zootécnico. Se ha empleado *Bubalus bubalis* variedad carabao como una buena raza productora de carne.

En este contexto el búfalo de pantano está distribuido en las regiones del sur y suroeste del continente asiático; mientras que el mayor número de cabezas del búfalo de agua se ha desarrollado en Asia meridional, especialmente en países como India, Pakistán y Bangladesh. Asimismo, la distribución del búfalo mediterráneo, que es un búfalo de agua, se ha diseminado desde Egipto hasta Turquía y el Medio Oriente (Barker et al., 1997; Deb et al., 2016).

El búfalo de pantano es ampliamente utilizado en la producción cárnica, no obstante, el búfalo de río se considera un excelente productor de doble propósito, es decir, producción de leche y carne de manera simultánea, aunque, paulatinamente se ha orientado a la producción cárnica en varias partes del mundo, debido a la gran aceptación que este producto ha logrado entre los consumidores, especialmente entre aquellos preocupados por alimentos saludables (Lemcke, 2017).

Con respecto a las especies productoras de carne, la discusión se centra entre cruza del búfalo de río (**Figura 2**), y el búfalo de pantano, ya que con ellas se busca obtener un producto con cualidades que brinden acceso a nichos de mercado que demanden carne de excelente calidad en función de criterios cualitativos sensoriales como instrumentales y, sobre todo, en los aportes nutricionales para el ser humano (Lemcke, 2017). Lo anterior debido a que, siendo animales utilizados principalmente para la producción de leche, cuándo ésta no es rentable, se envían las hembras al engrasamiento para su finalización y destinarlas al consumo de carne.

En este sentido se ha determinado que los terneros machos de búfalo de entre 8 y 10 meses de edad son adquiridos en los ranchos lecheros para ser utilizados a la engorda basados en dietas altas en proteína y energía y, con ello, se incrementa su peso en alrededor de 120 kg al término de cuatro meses. De esta forma, las crías de la raza Murrah de

un año logran ganancias de 0,9 a 1,0 Kg/día y podrían tener un mayor porcentaje de masa muscular, que es óptima para un consumidor exigente (Naveena y Kiran, 2014).

En cuanto al búfalo de pantano, que es más utilizado para la producción de carne, se caracteriza fenotípicamente por un color gris predominante, combinado con unas franjas grisáceas o blancas distintivas ubicadas en el cuello y pecho; también se observa la coloración blanca en las patas y un calibre mayor en los cuernos, en comparación con el búfalo de agua en los cuales predomina el color negro, sin marcas distintivas y sus cuernos tienen menor prolongación y calibre (Deb et al., 2016; Lemcke, 2017; Lind et al., 2008).



Figura 2. Bubillos de raza Mediterránea. Esta raza se desarrolló en Italia, sin embargo, también se ha distribuido en la mayoría de los países de América (Patiño et al., 2016). Los búfalos mediterráneos son de temperamento dócil; poseen cuernos cortos en dirección caudal, cuerpo compacto y musculoso, patas cortas con corvejones fuertes, y piel de color negro, marrón y gris oscuro. Los machos y las hembras alcanzan pesos de aproximadamente 800 kg 650 kg, de forma respectiva (ANASB, 2019).

ASPECTOS ZOOTÉCNICOS Y DE PRODUCTIVIDAD EN BÚFALOS

La genética propia del búfalo de agua en función de la raza o sus cruza, así como las micro y macro condiciones en las que son criados influyen directamente en las características cualitativas y cuantitativas de los productos y subproductos finales (Borghese, 2005).

Con esta consideración, se han evaluado diferentes indicadores productivos para alcanzar los estándares competitivos en materia cárnica (Cuadro 1), tales como el peso al nacimiento, ya que contribuye a determinar el punto de partida del proceso productivo y la evolución del animal y de este modo realizar ajustes de peso a diferentes edades. Asimismo, el peso al destete coadyuva a estimar de manera indirecta la capacidad de producción láctea de la madre y es cuando se denotan las habilidades productivas del becerro (Agudelo et al., 2007), en las cuales generalmente son más eficientes en comparación con los bovinos cárnicos tradicionales, debido a que registran una mejor conversión alimenticia al consumir forrajes de baja calidad bromatológica (Naavena y Kiran, 2014).

Cuadro 1. Indicadores productivos generales de los búfalos de agua

Peso de las crías bufalinas al nacimiento: entre 22 y 25 Kg
Peso y edad a la primera concepción: promedio de 250 a 275 Kg, que generalmente se alcanza entre los 24 y 36 meses de edad
Edad al primer parto: entre 4 y 5 años de edad.
Duración del ciclo productivo: Puede alcanzar hasta 18 años de edad
Peso de los búfalos macho adultos varía entre 480 y 550 Kg
Peso de las búfalas hembras adultas 420 y 450 Kg
Ganancia diaria promedio de peso vivo 0,85 kg. hasta 1 año y 0,66 kg hasta los 2 años

Fuente: Naveena y Kiran, (2014).

PESO AL NACIMIENTO Y GANANCIA DIARIA DE PESO

En ese contexto, en investigaciones realizadas en la India, se evaluaron el peso al nacimiento y la ganancia diaria de búfalos Murrah, determinando que el peso promedio al nacer en las hembras es de 32.83 ± 0.63 kg y 37.06 ± 0.73 kg en los machos, muy por arriba de lo señalado en el Cuadro 1. En cuanto a los registros de ganancia diaria en un lapso de 90 días fue de 0.595 kg en las hembras y de 0.612 kg para los machos, que podría clasificarse como un promedios competitivos, en especial si se obtienen en sistemas tradicionales (Pramod et al., 2018).

a) Sistema de producción

En cuanto a las opciones para organizar el sistema de producción de carne, en Malasia se realizó un estudio con el objetivo de determinar la productividad del búfalo de pantano comparando distintos sistemas de producción.

Al respecto, Nordin et al., (2004) asignaron a 90 novillas búfalos de pantano de dos años de edad, las que fueron asignadas aleatoriamente comparando los sistemas intensivo, semi-intensivo y un sistema de producción integrado, el cual contemplaba pastos nativos asociados con palma aceitera. Cada uno constó de dos repeticiones, 15 novillas y un toro por repetición. En el experimento se evaluaron los siguientes indicadores: peso al nacimiento, al destete y al año de edad, la ganancia diaria de peso y la tasa de la mortalidad antes del destete. Los resultados develaron un menor desempeño productivo en los búfalos alojados en el sistema intensivo (**Figura 3**); para las mediciones de peso al destete y al año de edad; aunque el peso inicial fue similar en los tres sistemas; registraron mejor desempeño productivo y reproductivo los animales alojados en el sistema semi-intensivo al momento del destete y, sobre todo, al primer año, muy cerca estuvieron los búfalos considerados en el sistema integrado y al final los alojados en los sistemas intensivos, lo que muy posiblemente se explica por la rusticidad del búfalo y su tendencia a desarrollarse en espacios abiertos (**Fig. 3a**). En la tasa de partos las diferencias también fueron marcadas, sobresaliendo

nuevamente los animales en los sistemas semi-intensivos con alrededor del 70%, el intensivo cerca del 53% y el integrado se rezagó con valores de alrededor del 46%, con diferencias importantes respecto al primero (**Fig. 3b**).

En cuanto a la ganancia diaria de peso (**Fig. 3c**) de nuevo destacaron los búfalos albergados en el sistema semi-intensivo, con poco más de 0.5 kg/día, en el sistema integrado un poco menos y en el sistema intensivo apenas se acercó a los 0.3 kg/día. Finalmente, en cuanto a la tasa de mortalidad los búfalos que se asignaron al sistema integrado fueron los más eficientes con el 7%, seguido por el sistema semi-intensivo con alrededor de 11%, mientras que en el sistema intensivo, se disparó hasta el 25%, una cifra muy alta para búfalos y para cualquier sistema de engorda (**Fig. 3d**). De esta forma, el sistema semi-intensivo mostró los mejores indicadores de peso al destete y al año de edad; la tasa de partos con el 65%; 0.5 Kg de ganancia diaria de peso y sólo en la tasa de mortalidad fue superado por el sistema integrado (**Figura 3**).

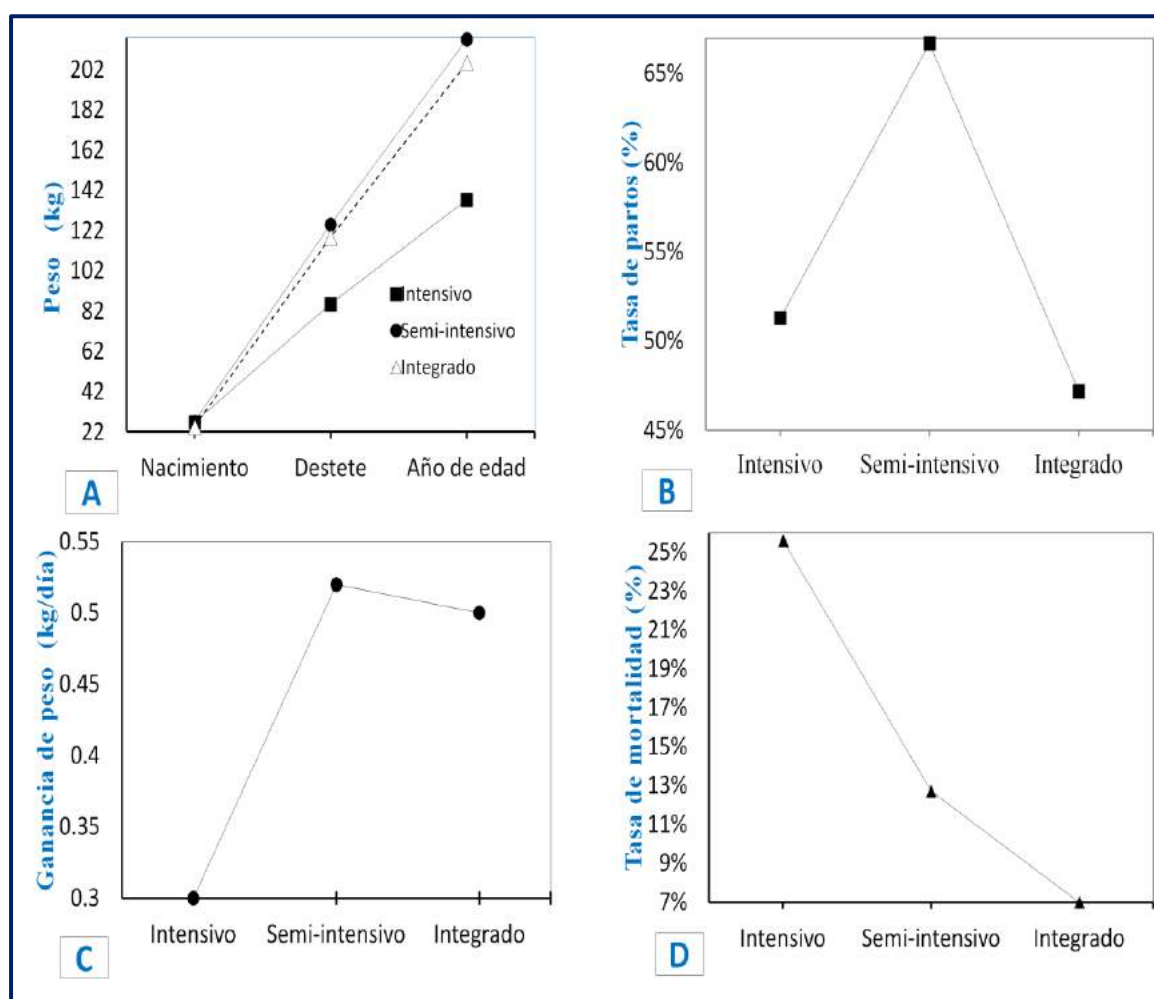


Figura 3. Productividad del búfalo de pantano comparando los sistemas intensivo, semi-intensivo e integrado. A. Se muestra la distribución del peso al nacimiento, destete y al año de edad en los tres sistemas de producción. Los búfalos del sistema semi-intensivo expresaron una diferencia de 11.9 kg con el sistema integrado y el 79.8 kg en el sistema intensivo B. Tasa de partos comparada en los tres sistemas de producción. Los búfalos del sistema semi-intensivo mostraron una tasa del 66.7%, mientras que en el sistema intensivo mostraron un descenso del 15.4% y en el sistema integrado se registró una tasa del 47.20%, es decir 19.5% menos que el sistema semi-intensivo. C. Refleja la ganancia de peso comparada en los tres sistemas productivos. Del mismo modo los animales del sistema semi-intensivo mostraron una ganancia de peso de 0.52 kg/día, en el sistema integrado la tasa registrada fue de 0.5 kg/día, mientras que en el sistema intensivo apenas aumentaron a razón de 0.3 kg/día. D. Se compara la tasa de mortalidad antes del destete. Se observa el incremento de la mortalidad correspondiente a 25.6% en el sistema intensivo, seguido del 12.7% en el sistema semi-intensivo, mientras que en el sistema integrado se registró el 7% de mortalidad, resultando el porcentaje más bajo de los sistemas productivos. Gráficas propias elaboradas con información de Nordin et al. (2004).

Otro elemento importante a valorar es el tipo de alimento que se proporciona a los búfalos durante su crecimiento y engorda, así como su efecto en las características de la canal. En este sentido, Charles y Johnson (1975) realizaron los primeros estudios en 20 búfalos en engorda que fueron alimentados del día 86 al 287 con diferentes dietas, desde forraje hasta concentrado con altas proporciones de grano para determinar las ganancias de peso vivo y la composición de la canal. Sus hallazgos mostraron que el promedio de ganancia diaria de peso vivo fue ligeramente mayor cuando los animales fueron alimentados con tres cuartos de pellets más un cuarto de heno, con valores de 0,74 kg en comparación con el resto de las dietas: de 0,67 kg cuando consistió exclusivamente en alimento concentrado; 0,64 kg cuando se les brindó tres cuartos de heno más un cuarto de concentrado y 0,56 kg con heno exclusivamente. Sin embargo, ninguna de las dietas mostró una diferencia significativa sobre la conformación de la canal.

De igual manera, las proporciones de músculo, hueso, tejido adiposo (grasa) y conectivo no variaron significativamente entre los cuatro grupos nutricionales. Los investigadores concluyeron que la composición de la canal del búfalo es relativamente estable a la administración de dietas extremas y que la especie no muestra propensión a engordar antes de los 30 meses de edad. Una evaluación de este tipo se podría completar con un análisis de costos de

producción, en el que las dietas en la que dominó el heno podrían presentar las principales ventajas.

En este mismo sentido, Lambertz et al. (2014), evaluaron el efecto del sistema de alimentación en 24 búfalos de pantano machos de la raza Swamp de 202 ± 10 kg, para lo cual los dividieron en cuatro grupos, dos en pastoreo, el primero en pasto Guinea (*Panicum máxima*); el segundo grupo, sobre pasto Guinea más una leguminosa (*Stylosanthes guianensis*); los otros dos grupos fueron confinados en corrales, el tercer grupo con alimentación a base de pasto de Guinea recién cortado más concentrado al 1.5% y el cuarto grupo, el mismo pasto más concentrado con 2.0% en proporción al peso corporal. Se evaluaron las características de la canal y la calidad de la carne, para reunir información suficiente con la finalidad de proponer recomendaciones adecuadas para la engorda de los animales y, con ello, producir carne de alta calidad. Entre los resultados, reportaron que los animales suplementados con concentrados tuvieron mayor promedio en la ganancia diaria de peso (0.57 kg/d, para el tercer grupo y de 0.54 kg/d para el cuarto grupo, respectivamente); mayor peso en canal caliente; rendimiento de entre el 48.1 y 49.5%; mejor tonalidad roja en el músculo *Longissimus thoracis* en comparación con los animales en pastoreo (0.316 kg/d para el primer grupo; y 0.354 kg/d para el segundo) ($p < 0.01$); sin embargo, la canal de los animales en pastoreo mostró mejor capacidad de retención de agua (pérdida por goteo y descongelación) ($p < 0.05$). Con base en los resultados

anteriores, los investigadores recomiendan la suplementación de concentrado a una tasa aproximada del 1,5% del peso corporal para mejorar el rendimiento y la calidad de la canal de los búfalos.

b) Factores relacionados con el parto

Cabe resaltar la importancia de mantener el control sobre los factores que ejercen cierto grado de influencia sobre el peso al nacimiento de los búfalos, tales como la época de parto y la edad de la progenitora (Fraga et al., 2004). En este aspecto, en Cuba, Martínez et al. (2009) determinaron el efecto de la estacionalidad de la búfala *Bufalipso* sobre parámetros productivos y reproductivos. En su estudio introdujeron como variables el número de partos y el mes en que ocurrieron, el peso al nacer, al destete y la duración de la lactancia. Los resultados indicaron que el 95.4% de los partos se presentaron entre julio y septiembre. En cuanto a las crías, el peso promedio al nacimiento fue de 36.82 kg; sin embargo, para la variable sexo, el macho mostró superioridad en peso al destete (153 vs 134 ± 2.14 kg, respectivamente). Además, se estimó una diferencia significativa entre el número de parto contra el peso al destete, esto es, a medida que aumenta el número de partos se incrementa el peso al destete, siendo el pico a partir del tercer parto en adelante.

Para evaluar el desempeño de los búfalos de río, se han ponderado diferentes parámetros productivos. En el caso de los búfalos brasileños se han considerado parámetros como el peso promedio al nacimiento

(39.5 ± 3.8 kg), peso a 205 días (195.2 ± 33.7 kg); peso a los 365 días (300.7 ± 58.5 kg) y peso a los 550 días (433.1 ± 88.1 kg). Partiendo de estos datos se han elaborado curvas predictivas de crecimiento para generar programas de selección con los objetivos de determinar edad mínima óptima en la que se puede obtener mayor peso y mejor calidad de la canal. De esta manera, Ramos et al. (2007) evaluaron el crecimiento del búfalo brasileño hasta los dos años de edad utilizando la información obtenida de 31,452 pesos al nacer y los pesos registrados a los 120, 205, 365, 550 y 730 días de edad ($n = 5.178$), de búfalos criados en pastoreo sin suplementación. Se obtuvieron diferentes curvas: logística, Gompertz, cuadrática hiperbólicas logarítmicas y lineales. Sus hallazgos arrojaron que las curvas logística y Gompertz sobrestimaron el peso al nacer de los búfalos en 62.1 y 58.3 kg, respectivamente; mientras que si se adoptan las curvas hiperbólicas logarítmica cuadrática y lineal arrojan valores más cercanos a los reportados en la literatura. En cuanto al peso a los 750 días, se detectó que los valores estimados por cada curva fueron muy similares y cercanos a los valores que se han documentado. Se concluye que el uso de las curvas de crecimiento, especialmente las hiperbólicas, constituye una herramienta que puede auxiliar en la predicción del comportamiento de los búfalos de carne con cierta precisión.

EVALUACIÓN INDIRECTA DEL PESO VIVO

Otro indicador relevante es el peso vivo de los animales; sin embargo, dada la dificultad para obtener este valor en los sistemas de producción pequeños y medianos y/o en zonas aisladas, en Pakistán, Tariq et al. (2013) diseñaron una nueva alternativa predictiva para el peso corporal de los búfalos Nili-Ravi, a través de las mediciones morfométricas directas e indirectas (Cuadro 2).

Tras pesar a los búfalos en una balanza mecánica, los investigadores determinaron la longitud del cuerpo, la circunferencia del pecho, altura de los hombros y con ello clasificaron la condición corporal mediante la escala de cinco puntos. Los resultados denotaron una relación entre la circunferencia del pecho, la longitud del cuerpo y la condición corporal, introdujeron estos datos y a través del uso de ecuaciones de regresión lineal por edad, concluyendo que se trata de que una herramienta eficiente para predecir el peso corporal.

Cuadro 2. Descripción de las medidas morfométricas usadas para la evaluación de indicadores en búfalos destinados a la producción de carne

Peso corporal post destete	Característica primordial para determinar el crecimiento del animal. Se utiliza como base para la selección de animales Refleja el crecimiento de los órganos, músculo y tejido adiposo
Peso corporal + crecimiento óseo y longitud corporal Perímetro torácico Modelos no lineales, particularmente los modelos logístico y Gompertz Perímetro torácico + edad + altura a la cruz	Desarrollo corporal de cada animal La altura a la cruz refleja el crecimiento en altura a través del crecimiento de los huesos Medida alternativa para estimar el peso corporal en animales Curvas de crecimiento de los búfalos en general y especialmente para la raza Murrah Se pueden utilizar para estimar el peso corporal del búfalo. Y tienen un modelo de curva sigmoidea
Alves y Franzolin (2015).	

Sin embargo, en otro estudio llevado a cabo en Roma por Terzano et al., (2007) se documentó que las mediciones corporales pueden variar de acuerdo con el sistema de producción. Al evaluar bubillas bajo dos sistemas de producción: uno intensivo y otro extensivo (ambos en pastoreo) hasta que los animales alcanzaron la pubertad. Se efectuaron las siguientes mediciones: el ancho del pecho (46.3 vs 37.7 cm), circunferencia torácica (95.3 Vs. 176.5 cm); ancho de la pelvis anterior (50.8 Vs. 47.4 cm), altura de la cruz (126.4 Vs 122.7 cm), sacro (132.3 Vs. 127.4 cm), íleon (126.1 Vs. 121.7 cm), altura del isquion (118.6 Vs. 113.6 cm) y coxal (46.8 Vs. 44.2 cm). Sus hallazgos demostraron que, en general, los valores más altos fueron obtenidos por las hembras del sistema intensivo, respecto a las criadas en el

sistema extensivo. Los investigadores concluyen que estas valoraciones representan una manera eficiente de evaluar el rendimiento de los búfalos de acuerdo con el sistema de producción.

Por otro parte, uno de los mejores indicadores para determinar la cantidad de carne obtenida por animal es el rendimiento de la canal. En ese sentido, Rashad et al. (2019) exploraron nuevas alternativas en el búfalo a través de medidas corporales como son la circunferencia del pecho, altura de la cruz, profundidad corporal, ancho de las espinas vertebrales y longitud diagonal con el fin de estimar su relación con el peso vivo, la canal y sus componentes. Los resultados revelaron que la circunferencia del pecho mantiene una estrecha relación con todos los rasgos de la canal excepto el peso óseo, además de ser un buen indicador de la canal deshuesada y peso de la grasa de la canal, mientras que el peso para el sacrificio, la altura de la cruz, el peso de la grasa de la 13ra costilla se distinguieron como los mejores indicadores predictivos de la canal caliente y del peso de los huesos de la canal (Rashad et al., 2019).

c) Raza/edad/sexo y rendimiento de la canal

Los búfalos machos jóvenes son sacrificados usualmente a los 12-24 meses de edad, con 250-300 kg. Los porcentajes de rendimiento de las canales varían con el tipo y la edad. Los de tipo Mediterráneo (Brasil) tienen un porcentaje de rendimiento cercano al 55 %, mientras que los de tipo Swamp (Australia) rinde aproximadamente un 53 %. Los individuos viejos e improductivo tienen un bajo rendimiento, del

orden del 43-57 %, mientras que los becerros rinden 61-64 %. El rendimiento promedio en dietas moderadas es cercano al 55-59 % (Kandeepan et al., 2009).

Si bien existen razas claramente definidas como productoras de carne, se han utilizado los búfalos de doble propósito por su conformación cárnica (Cuadro 3), como producto secundario al producto principal que es la leche; sin embargo, en la India se ha presentado un fenómeno de las denominadas razas no definidas, que también se conocen como búfalos Desi.

Este tipo de búfalos habían sido poco estudiados, sin embargo, su población va en aumento y, por ende, contribuyen en buena medida a la producción cárnica en la India. Ante ello, Rao et al. (2009), con el objetivo de caracterizar el rendimiento de los búfalos de razas no definidas, evaluaron el rendimiento en la canal de 60 búfalos agrupados en tres categorías de edad con hembras y machos en igual número: Grupo (I) 6 meses a 2 años; Grupo (II) 2 a 4 años y Grupo (III) más de 4 años para orientar a los procesadores y ganaderos sobre la edad óptima para sacrificar a este tipo de búfalos destinados al abasto. Dentro de sus hallazgos reportaron que la medición del área del ojo de bife (chuleta), músculo *Longissimus thoracis*, utilizada como una medida del grado de desarrollo muscular en animales se va incrementando a medida que aumenta la edad de los búfalos hasta los 4 años ($p < 0.01$); además, observaron que los machos presentan mayor superficie de ojo de bife (17.40 cm^2) en comparación con las hembras (15.62 cm^2) ($P < 0.01$). También apreciaron que la proporción carne-

hueso disminuyó conforme se incrementó la edad de los animales, siendo la menor en animales mayores a 4 años ($p < 0.05$). Se observó un aumento del grosor del tejido adiposo conforme avanzó la edad hasta los 4 años, el mayor espesor de tejido adiposo se encontró en los machos de 2 a 4 años de edad ($P < 0.01$), siendo las hembras las que más tejido adiposo acumularon ($P < 0.01$).

Además, en cuanto al acortamiento por frío, se estimó que fue significativamente más alto en los machos (4.7%) que en las canales de hembras (2.9%) ($P < 0.01$). Se concluyó que la mejor edad para enviar a la matanza a los búfalos de razas no definidas es entre 2 y 4 años, cuando presentan las características óptimas en cuanto a peso vivo, rendimiento en canal, rendimiento de despojos, grosor del tejido adiposo, relación carne-hueso y área del ojo muscular.

Asimismo, basados en la capacidad de las especies para la engorda, Azary et al. (2007) compararon el desempeño del búfalo Azeri (nativo de India), con terneros nativos y cruzados (Holstein*nativos). En el experimento se incluyeron 18 animales con un peso promedio de 160 kg, que fueron engordados hasta los 300 kg en las mismas condiciones de crianza. Se detectaron diferencias significativas en el consumo promedio de alimento (5.3, 5.6 y 6.3 kg respectivamente); mientras que en el tiempo necesario para llegar a los 300 kg se observaron diferencias significativas entre los grupos, siendo de 180 días para los búfalos, 154 días para los becerros mestizos y 218 días para los becerros nativos. Los búfalos, mostraron un desempeño intermedio entre los becerros mestizos y nativos y, por tanto, podrían ser una

alternativa para la engorda y así competir con otras especies tradicionales (Azary et al., 2007).

Cuadro 3. Principales características de las razas de búfalo de río utilizadas para la producción secundaria de carne

Indicadores /características productivas	Murrah	Jafabaradi	Mediterránea	Carabao	Bufalipso
Características corporales	Macizos, robustos, conformación profunda y ancha, extremidades cortas y huesos pesados	Esta raza es la de mayor tamaño	Animal compacto, musculoso y profundo, tiene buena conformación de grupa	Cuerpo corto y su vientre ancho, son de conformación compacta, maciza, con apreciables cortes carniceros	
Conformación cárnica	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Buena
Ganancia diaria de peso promedio	Ganancia de peso promedio diaria es de 0.62 kg.	Ganancia de peso promedio diaria es de 0.96 kg.	Ganancia de peso promedio diaria es de 0.92 kg.	Ganancia de peso promedio diaria es de 0.506 kg.	Ganancia de peso promedio diaria es de 0.624 kg.
Características reproductivas de las hembras	Edad para la primera concepción entre 18 y 22 meses de vida.	Requiere mayor volumen de alimentos para obtener la energía necesaria y en restricciones alimentaria alarga el intervalo inter-parto y retarda su recuperación	Edad promedio al primer parto es de 40 meses,		Primer parto a los 37.69 $\pm$ 1.69 meses de edad con 320-570 Kg. de peso vivo. Período inter-partos de 415 $\pm$ 30 días
Peso vivo adulto	Machos: De 600 a 800 Kg, hasta 1.000 Kg. Hembras: De 470 a 700 Kg, hasta 900 Kg.	Machos: entre 700 y 1000 Kg., hasta 1500 Kg. Hembras: En promedio 700 kg Hasta 1100 kg	Machos: de 600 a 800 kg Hembras 600 Kg en promedio.	Machos: entre 600 y 700 Kg. Hembras: entre 450 y 500 Kg.	Machos: entre 600 y 700 kg. Hembras de 450 a 500 kg.
Almaguer-Pérez, (2007); Fundora, (2015); Agudelo et al. (2007).					

Como se ha expuesto, la edad del animal tiene influencia en los indicadores de rendimiento de la canal (**Figura 4**). En este sentido en los indicadores peso al sacrificio y peso de la canal caliente, se observa que puede ocurrir una reducción promedio de entre 50 y 90 kg (**Fig. 4a**), así como una variabilidad de entre 59 y 39% en el rendimiento de la canal (**Fig 4b**); la cantidad de grasa en la zona renal puede ser de hasta del 2%, con un promedio de 1.5%, mientras que el promedio de la puntuación EUROP, estaría cercano a 3 para grasa y de 2 para carne, todo ello dependiendo de la conformación del animal (Holló et al., 2014).

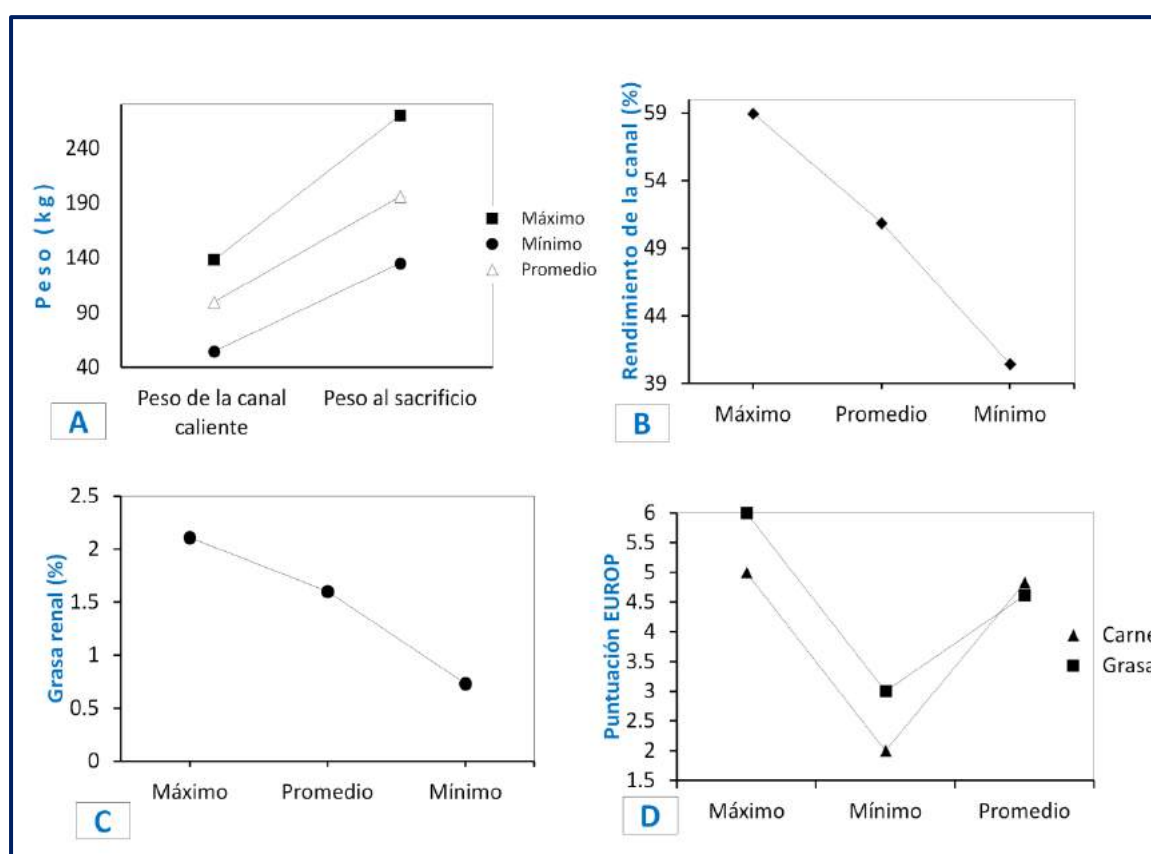


Figura 4. Datos al sacrificio de las búfalas lactantes en el sistema extensivo. A. Distribución del peso al sacrificio y de la canal. B. Rendimiento de la canal, C. Tasa de grasa renal. D. Puntuación EUROP para carne y grasa. Gráficas propias elaboradas con información de Holló et al. (2014).

Los búfalos de agua, en general, estrictamente no son animales especializados en la producción de carne, aunque varios de sus atributos han sido considerados como competitivos en comparación con los bovinos cárnicos tradicionales, tales como su precocidad y longevidad, ya que comienzan su vida productiva a temprana edad, por lo cual, se reduce el intervalo generacional y, al mismo tiempo, tienen la posibilidad que la cantidad de reemplazos sea mayor que en los bovinos convencionales. Lo anterior se asocia con mayores beneficios económicos en las unidades productivas que implementan estrategias básicas de manejo racional y eficiente en los sistemas productivos. Finalmente, se debe considerar que son varios los factores que se necesitan valorar para determinar los indicadores productivos y su efecto en la calidad y rendimiento de las canales de búfalo (**Figura 5**). Por ello, se deben seguir desarrollando estudios que aporten información pertinente para las diferentes razas y cruza en los búfalos, lo cual permitirá sustentar la opción del búfalo como fuente cárnica.

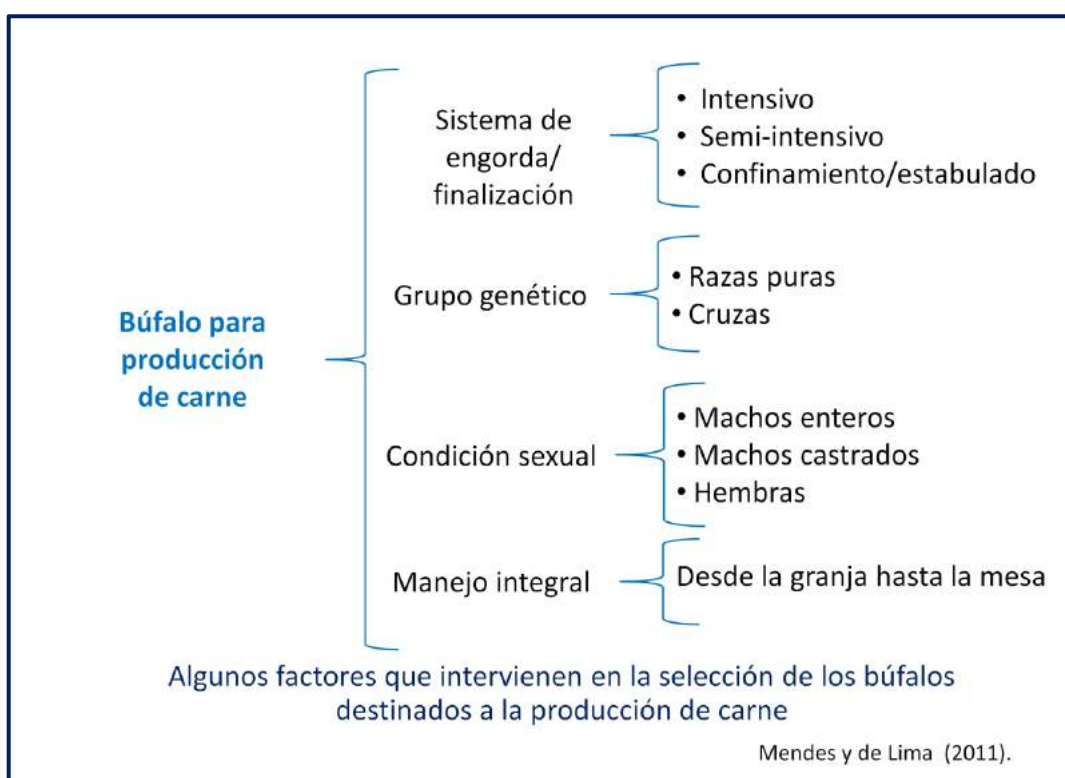


Figura 5. Factores que intervienen en la selección de búfalos productores de carne. Los hallazgos en los estudios científicos han aportado información para la selección de las razas, y el manejo de los animales en los sistemas productivos desde la unidad pecuaria hasta la mesa, con el fin de valorar al búfalo como una fuente cárnica de buena calidad.

PATOLOGÍAS FRECUENTES

La producción de carne de búfalo es uno de los fines zootécnicos con mayores beneficios económicos, pero al igual que cualquier especie convencional utilizada para ese fin, si no se encuentran en las condiciones óptimas el búfalo se predispone a alteraciones que reducen considerablemente su bienestar y productividad (Deb et al., 2016).

A nivel mundial se reportan diversas enfermedades asociadas a los búfalos de agua, dentro de las cuales se denota una gran similitud con la lista de enfermedades potencialmente peligrosas para el ganado vacuno convencional (Lind et al., 2008); aunque debido a su rusticidad innata, el búfalo se posiciona como un animal con menor sensibilidad a estas enfermedades (Lemcke, 2017), como se examina a continuación.

Enfermedades de origen bacteriano

En la intoxicación botulínica el agente involucrado es *Clostridium botulinum*. Es una bacteria que desencadena una intoxicación neuromuscular, que se considera de alto impacto económico y ha sido reportada en diversas partes del mundo. Se transmite con facilidad, ya que las esporas fluyen a través del agua y por la agresividad del agente etiológico el botulismo juega un papel epidemiológico relevante en el caso de los búfalos (Otaka et al., 2019).

En el norte de Australia, la zona del continente donde se reportan más casos de botulismo, la predisposición de los búfalos se asocia al pastoreo en áreas deficientes en fósforo y los casos que se registran están relacionados con los serotipos C, D y variaciones de éstos (Lemcke, 2017). Así mismo, en el mundo occidental, Brasil, el cual es un potencial productor mundial de búfalo y es el país donde se originaron cinco cepas de *Clostridium botulinum* con serotipos

asociados a las variaciones C y D. Se reportan altas tasas de mortalidad en las zonas amazónicas que también se asocian a deficiencias en el forraje pastoreado y a la ingestión de toxinas botulínicas propagadas por medio del agua (Otaka et al., 2019; Salvarani et al., 2017). En Sudáfrica e Israel el botulismo se describe como una enfermedad endémica y se realizan investigaciones para el mejoramiento de las vacunas actuales (Krüger et al., 2013).

Específicamente en Japón, la presencia de este agente se reporta como contemporáneo, ya que el primer caso en ganado bovino se reportó a mediados de la década de los años 1990 y alrededor de 2004 se registraron brotes con una tasa de mortalidad elevada, de igual forma en el continente asiático el serotipo asociado al botulismo en búfalos en la variación C, D (Nakamura et al., 2010).

Otra de las enfermedades que afecta mundialmente al búfalo es la septicemia hemorrágica, también denominada pasteurelosis, ya que el agente etiológico es *Pasteurella multocida*. La literatura reporta que el búfalo tiene mayores tasas de susceptibilidad comparado con el ganado bovino (Deb et al., 2016; Puspitasari et al., 2019); y los continentes que registran mayores casos de pasteurelosis son África y Asia, además representa un gran impacto económico para estas regiones del mundo debido al curso agudo de la enfermedad y sus altas tasas de mortalidad (Rafidah et al., 2012).

A manera de ejemplo, un estudio retrospectivo en Malasia que abarcó 16 años y se concluyó en 2009, demostró que en regiones específicas

del país se llegan a presentar hasta ocho brotes anuales con altas frecuencias en temporadas de sequías (Rafidah et al., 2010). Por el contrario, en el continente australiano se describe como una enfermedad exótica, ya que no se han registrado casos hasta la actualidad (Lemcke, 2017).

Enfermedades de origen viral

Con respecto a las enfermedades de origen viral, se han reportado varias como la lengua azul (bluetongue), la diarrea viral bovina y la fiebre catarral maligna de las cuales se han reportado pocos casos en búfalos, aunque la primera se ha catalogado de importancia económica ya que algunas potencias mundiales como China restringen la importación de animales con anticuerpos elevados contra el virus (Lemcke, 2017). Aunque los herpesvirus se detectan principalmente en el ganado bovino, en los búfalos también se ha identificado herpesvirus bubalino 1 (BuHV1) y se ha demostrado la susceptibilidad de los bovinos a la infección causada por este último. Los herpesvirus bovinos de mayor impacto a nivel productivo son los alfaherpesvirus bovinos tipo 1 y 5 (BoHV1 y BoHV5) (Dewals, et al., 2006).

Recientemente se identificó otro tipo de herpesvirus en Argentina, el gammaherpesvirus bovino tipo 4 (BoHV4), cuyo impacto económico como causante primario de enfermedad aún se desconoce, pero que podría asociarse a trastornos reproductivos (Novelli, 2019).

Enfermedades parasitarias

El búfalo de agua, al igual que la mayoría de los mamíferos rumiantes, es afectado por agentes parasitarios dependientes del ambiente en el que se desarrollen (Deb et al., 2016; Lind et al., 2008).

La enfermedad zoonótica denominada sarcocistosis provocada por un parásito protozoario tiene reportes de altas tasas de prevalencia en el continente asiático; y se considera de impacto económico en la industria de búfalos productores de carne debido a sus signos relacionados con las pérdidas excesivas de peso. En 2013, se realizó una investigación en Malasia donde examinaron muestras de tejido de corazón, lengua, esófago y músculo esquelético de más de 120 búfalos distribuidos en 18 localizaciones distintas y descubrieron una prevalencia del 66.7% en búfalos y los tejidos con mayores tasas de contaminación fueron el corazón, el esófago y el músculo esquelético (Latif et al., 2013).

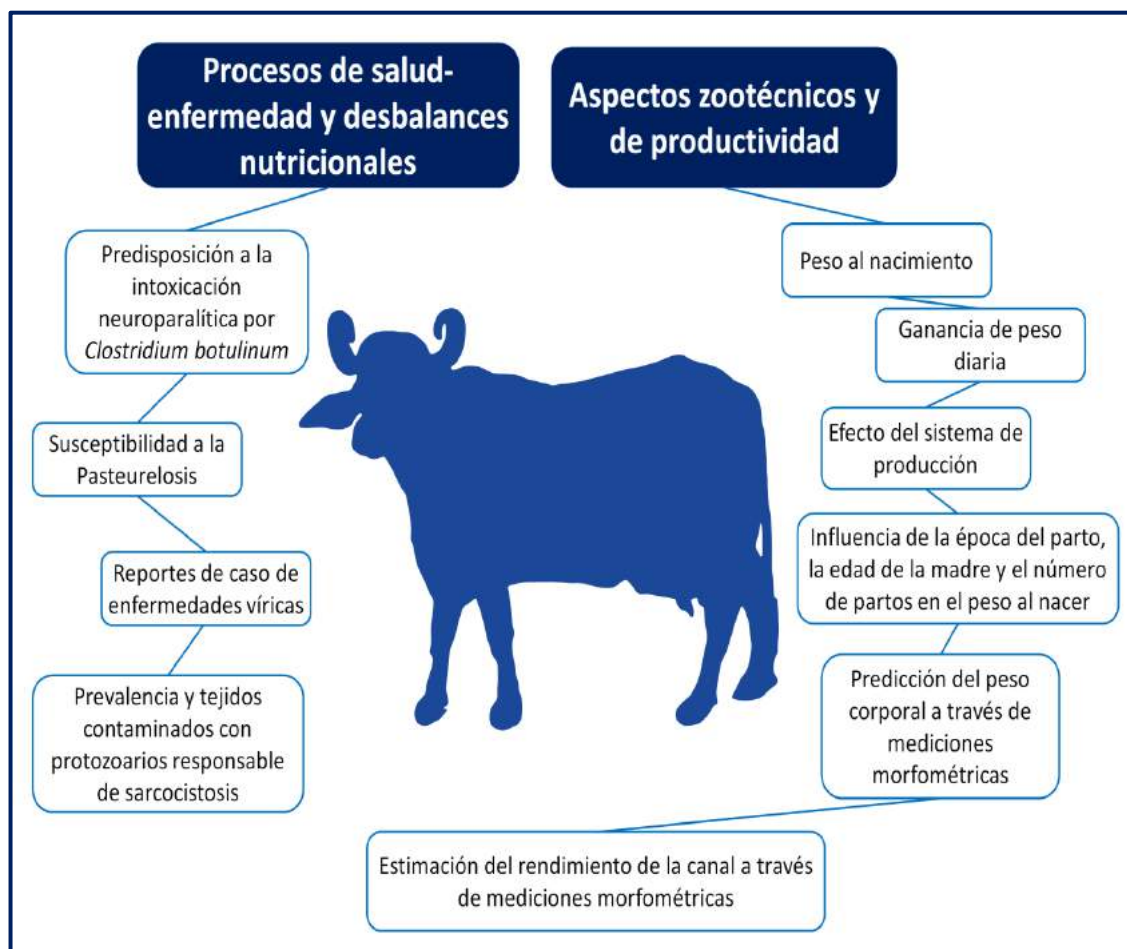


Figura 6. Hallazgos recientes en las áreas de investigación en el búfalo de carne. En años recientes, en diferentes países se han realizado investigaciones enfocadas en aspectos zootécnicos y de productividad, así como de procesos de salud-enfermedad y desbalances nutricionales que presentan los búfalos destinados para carne. Dentro de los aspectos zootécnicos y de productividad se destacan estudios orientados a determinar el peso al nacimiento; la ganancia de peso diaria; el efecto del sistema de producción en estos parámetros; la influencia de la época del parto, la edad de la madre y el número de partos en el peso al nacimiento; la predicción del peso corporal y el rendimiento de la canal a través de mediciones morfométricas. En el caso de los estudios sobre procesos de salud-enfermedad, se ha analizado la predisposición a la intoxicación neurolítica por *Clostridium botulinum*; la susceptibilidad a la pasteurellosis; reportes de caso de enfermedades víricas como la lengua azul, diarrea viral bovina y fiebre catarral maligna; prevalencia y tejidos contaminados a partir del coccidio responsable de la sarcocistosis.

PERSPECTIVAS

En la actualidad se ha detectado la necesidad de profundizar la investigación de enfermedades que afectan a las especies productoras de carne, ya que la mayoría se centran en la producción láctea. Aunque la información disponible indica que son similares a las del ganado bovino tradicional existen algunos agentes patógenos que tienen mayor impacto en la salud de los búfalos a pesar de su rusticidad. Sin embargo, es necesario evaluar el rango de su impacto para poder establecer programas de vacunación u otras medidas adecuadas de acuerdo a los factores individuales de la especie y tomando en cuenta la región geográfica de distribución (Deb et al., 2016; Lind et al., 2008). De igual manera es recomendable mejorar los protocolos de exportación e importación de los ejemplares y optimizar la opción de un comercio con la seguridad sanitaria requerida.

La demanda creciente de productos de origen animal sugiere la incorporación de especies con mayor eficiencia y que proporcionen productos de mayor calidad composicional, por lo cual, tanto la carne como la leche de búfalo responden a esos criterios. Además, presentan características de importancia en la salud humana, con posibilidades de elevar la rentabilidad económica, debido a su baja dependencia de insumos externos e incluso con una valorización virtuosa de los recursos forrajeros (Lemcke, 2017).

CONSIDERACIONES FINALES

Tomando en cuenta la expansión de la población humana y, por ende, el aumento de la demanda de alimentos en las últimas décadas, se vuelven trascendentales las alternativas para la producción de carne y leche proveniente de especies con la rusticidad y la eficiencia, suficientes para elevar los beneficios económicos y, a la par, atenuar el impacto ambiental. En esa línea, sobresale el búfalo, que ha sido domesticado y se adapta, cada vez más a los procesos de producción sustentables y, por ello, figura como una excelente alternativa en diversas regiones del mundo para contrarrestar la creciente demanda de insumos para la producción animal. De igual forma, es importante poner de relieve que el animal posee la capacidad de soportar ambientes hostiles sin disminuir su producción. Si se compara con la producción de carne de ganado tradicional, se debe considerar que la capacidad de producción de carne de los búfalos es alta y sostenible durante un período más largo en los diferentes sistemas de producción. En comparación con la carne de ganado tradicional, el aporte nutricional del búfalo es potencialmente elevado y la carne de búfalo figura como la más saludable entre las carnes rojas conocidas para el consumo humano, dado su bajo contenido en calorías y colesterol. Todos estos factores brindan opciones a esta especie, que bajo un modelo tradicional puede coadyuvar tanto al desarrollo de pequeños productores como al de regiones marginadas en el mundo,

así como al abasto de diferentes tipos de demanda de productos cárnicos.



Figura 7. Peso al nacer y al destete. El peso al nacimiento y la edad al destete, así como las características de la madre entre otros factores que se han analizado en este documento, juegan un papel trascendente en la producción de carne. Esto se explica por su excelente ganancia de peso y calidad de la carne, así como por su contribución al mejoramiento progresivo de los sistemas que se despliegan en torno a esta especie.

Con respecto a la sensibilidad hacia las enfermedades, se ha documentado que los búfalos, a pesar de su rusticidad, son susceptibles a más o menos a los mismos agentes etiológicos que el ganado vacuno tradicional. Aunque el rango de predisposición se reduce en el búfalo, excepto cuando se alojan en ambientes inadecuados y con deficiencias nutricionales, como suele ocurrir en cualquier especie animal. Sin embargo, es un tema que requiere profundizarse en los búfalos y debería ser desarrollado con mayor

profundidad para disponer de mayores evidencias sobre sus afectaciones reales y potenciales y, en su caso, sobre las medidas de prevención y atención, para que éstas sean eficaces como oportunas.

REFERENCIAS

- ANASB, 2019. Specie Bufalina – A.N.A.S.B. [WWW Document]. URL <http://www.anasb.it/bufala-mediterranea-italiana/specie-bufalina/> (accessed 8.20.20).
- Agudelo, D.A., Cerón, M.F., Hurtado, A., 2007. El búfalo como animal productor de carne: producción y mejoramiento genético. *Revista Lasallista de Investigación*, 4, 43-49.
- Alarcón-Rojo, A., Mota-Rojas, D., García-Galicia, I., Cruz-Monterrosa, R., Ramírez-Bribiesca, E., Olmos-Hernández, A., Guerrero-Legarreta, I., 2020. Dark cutting in river buffalo: Effect of management and environmental factors. *Agroproductividad* 13, 93-98. <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1927>
- Almaguer-Pérez, Y., 2007. El búfalo, una opción de la ganadería. *REDVET Revista Electronica Veterinaria*, 8:1-23.
- Álvarez-Macías, A., 2020. Los búfalos de agua: un área de oportunidad en América Latina. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 20(40):191-196.
- Alves, T.C., Franzolin, R., 2015. Growth curve of buffalo grazing on a grass pasture. *Rev. Bras. de Zootec.* 44: 321-326.
- Anjaneyulu, A.S.R., Thomas, R., Kondaiah, N., 2007. Technologies for added buffalo meat products: a review. *Am. J. Food. Tech.* 2(3):104-114.

- Azary, M., Manafiazar, Gh., Razagzadeh, S., Amini-jabalkandi, J., 2007. Comparing fattening performance of Azeri buffalo, native and crossbred (native* Holstein) male calves in west Azerbaijan - Iran. *Italian Journal of Animal Science*. 6, 1152-1255. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.1252>
- Barker, J.S.F., Moore, S.S., Hetzel, D.J.S., Evans, D., Byrne, K., 1997. Genetic diversity of Asian water buffalo (*Bubalus bubalis*): microsatellite variation and a comparison with protein-coding loci. *Anim. Genet.* 28, 103–115. <https://doi.org/doi:10.1111/j.1365-2052.1997.00085.x>
- Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Morales, A., Orozco, C., Mota-Rojas, D., 2019a. Capítulo 7. Los sistemas de producción de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). *El búfalo de agua en las Américas* (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Bertoni, A., Álvarez, A., Mota-Rojas, D., 2019b. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 19 (38), 59-80.
- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J., Legarreta, I.G.-, 2020a. similarities and differences between river buffaloes and cattle : health , physiological , behavioral and productivity aspects. *J. Buffalo Sci.* 9, 92-109. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.12>

- Bertoni, A., Mota-Rojas, D.; Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I. et al. 2020b. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 8:288-297. doi.org/10.31893/jabb.20038
- Borghese, A., 2005. Buffalo meat and meat industry, in: Borghese, A. (Ed.), *Buffalo Production and Research*. FAO, Rome, pp. 197-218.
- Charles, D. D., Johnson, E. R., 1975. Liveweight gains and carcass composition of buffalo (*Bubalus bubalis*) steers on four feeding regimes. *Aust. J. Agric. Res.* 26:407-413.
- Crudeli G.A., Berdugo, J., Konrad J.L., y Bando, A., 2020. Biotecnologías reproductivas en búfalos (*Bubalus bubalis*) en Argentina. En: Montiel Urdaneta, N.S. "El búfalo, el bovino del presente y del futuro", p. 275-284 . Ediciones Astro Data, S.A. Maracaibo-Zulia. Venezuela.
- Cruz-Monterrosa, R.G., Mota-Rojas, D., Ramírez-Bribiesca, E., Mora-Medina P., Guerrero-Legarreta I., 2020. Scientific findings on the quality of river buffalo meat and it's prospects for future studies. *J. Buffalo Sci.* 9, 170-180. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.18>
- Cutrignelli, M.I., Calabro, S., Tudisco, R., Chiofalo, B., Musco, N., Gonzalez, O.J., Grossi, M., Monastra, G., Infascelli, F., 2013. Conjugated Linoleic Acid and Fatty Acids Profile in Buffalo Meat. *Buffalo Bulletin*, 32 (Special Issue 2): 1270-1273. Cruz-Monterrosa, R.G., Mota-Rojas, D., Ramírez-Bribiesca, E., Mora-

- Medina P., Guerrero-Legarreta I., 2020. Scientific findings on the quality of river buffalo meat and its prospects for future studies. *J. Buffalo Sci.* 9, 170-180. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.18>
- Deb, G.K., Nahar, T.N., Duran, P.G., Presicce, G.A., 2016. Safe and sustainable traditional production: The water buffalo in Asia. *Front. Environ. Sci.* 4, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00038>
- Dewals B, Thirion M, Markine-Goriaynoff N, Guillet L, de Fays K, Minner F, Daix V, Sharp P, Vanderplasschen A., 2006. Evolution of bovine herpesvirus 4: recombination and transmission between African buffalo and cattle. *J Gen Virol.* 2006;87:1509–19.
- FAOSTAT, 2021. <http://fenix.fao.org/faostat/internal/es/#data/QA>, consulta realizada 17 de marzo de 2021.
- Fraga, L.M., Fundora, O., Gutiérrez, M., González, M.E.; Mora, M., 2004. Influencia de algunos factores en el peso al nacer de bucerros de la raza Bufalipso. *Nota técnica. Rev. Cubana Cienc. Agric.* 38: 377-379.
- Fundora, O. 2015. Comportamiento de búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) de la raza Buffalypso en sistemas de alimentación basados en pastoreo: quince años de investigaciones en el Instituto de Ciencia Animal. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 49, 161-171. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193039698005.pdf>
- Giordano, G., Guarini, P., Ferrari, P., Biondi-Zoccai, G., Schiavone B. Giordano, A. 2010. Beneficial impact on cardiovascular risk

- profile of water buffalo meat consumption. *Eur. J. Clin. Nut.* 64, 1000-1006.
- Grossi, M., Addi, L., Borrielo, R., Musco, N., 2013. Buffalo nutrition and meat quality. *J. Nutr. Ecol. Food Res.* 1:79-90.
- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R.G., Mora-Medina, P., & Berdugo-Gutiérrez J., 2019a. The River Buffalo: versatile, rustic and sustainable as a meat producer. *Agro. Meat.*, 1–10.
- Guerrero-Legarreta, I., García-Galicia, I., Ramírez-Bribiesca, R., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R., Olmos-Hernández, A., & Alarcón-Rojo, A. D., 2019b. Capítulo 21. Factores que afectan la calidad de la carne del búfalo de agua y bovino del género *Bos*. In: Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., & Orihuela, A. (Ed.), *El búfalo de agua en las Américas*. México. BM Editores.
- Guerrero-Legarreta, I., Rosmini, R., Mota-Rojas, D., Fernández-López, J., Cruz-Monterrosa, R., Pérez-Álvarez, J.A., 2019c. Capítulo 22. Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua. En: Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., & Orihuela, A. (Ed.), *El búfalo de agua en las Américas*. México. BM Editores.
- Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. 2019d. *El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales*. Segunda edición. México, Editorial BM Editores. Enero, 2019. Ciudad de México. p.p. 1-881. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo->

[de-agua-en-las-americas-2a-edicion/](#)

- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Cruz-Monterrosa, R., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Ramírez-Bribiesca, E., Bertoni, A., Berdugo-Gutiérrez, J., & Braghieri, A., 2020a. River buffalo meat production and quality: sustainability, productivity, nutritional and sensory properties. *J. Buffalo Sci.* 9, 159-169. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.17>
- Guerrero-Legarreta, I., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., 2020b. Capítulo 6. El búfalo de agua productor de carne por el mundo: indicadores productivos y sanitarios. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). *El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales* (192-224), Segunda edición. México, BM Editores.
- Irurueta, M., Cadoppi, A., Langman, L., Grigioni, G., Carduza, F., 2008. Effect of aging on the characteristics of meat from water buffalo grown in the Delta del Parana' region of Argentina. *Meat Sci.* 79, 529–533.
- Holló, G., Barna, B., Nuernberg, K., 2014. Characterisation of carcass composition and meat quality of male suckling buffalo calves kept on natural grassland. *Archiv. Fuer. Tierzucht.* 56, 1060. <https://doi.org/10.7482/0003-9438-56-107>, 2014
- Joele M.R., Lourenço L.F., Lourenço Júnior J.B., Araújo G.S., Budel J.C., Garcia, A.R., 2017. Meat quality of buffaloes finished in traditional or silvopastoral system in the Brazilian Eastern Amazon. *J. Sci. Food Agric.* 97:1740-5.

- Kandeepan, G., Biswas S., Rajkumar, R.S., 2009. Buffalo as a potential food animal. *Inter. J. Livest Prod* 1 (1), 001-005.
- Kandeepan G., Mendiratta S.K., Shukla V., Vishnuraj M.R., 2013. Processing characteristics of buffalo meat- a review. *J. Meat Sci. Technol.* 1, 1-11.
- Krüger, M., Skau, M., Shehata, A.A., Schrödl, W., 2013. Efficacy of *Clostridium botulinum* types C and D toxoid vaccination in Danish cows. *Anaerobe* 23, 97–101. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2013.06.011>
- Latif, B., Vellayan, S., Heo, C.C., Kannan Kutty, M., Omar, E., Abdullah, S., Tappe, D., 2013. High prevalence of muscular sarcocystosis in cattle and water buffaloes from Selangor, Malaysia. *Trop. Biomed.* 30, 699–705.
- Lemcke, B., 2017. *The Australian Water Buffalo Manual*. 1–147.
- Lind, O., Svennersten-Sjauna, K., Bruckmaier, R.M., 2008. Efficient dairy buffalo production. *Laval Int. AB*. 27-28.
- Martínez, A., Ray, J.V., García, R., Benítez, D., Guevara, O., 2009. Comportamiento de algunos indicadores productivos y reproductivos del búfalo de río en la provincia Granma. *Rev. cuba. cienc. agríc.* 43:127-130. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1930/193015425004>
- Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I., Pérez-Álvarez J.A., Rosmini, M., Napolitano, F., Ghezzi, M., Fernández-López, J. Braghieri, A., Viuda, M., Bragaglio, A., & Mora-Medina, P., 2019a. Capítulo 1. La carne de búfalo de agua en las Américas: retos y oportunidades. En: Guerrero-Legarreta I, Napolitano F, Mota-

- Rojas D. & Orihuela A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., & Guerrero-Legarreta, I. Napolitano F., 2019b. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 14(035). <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>
- Mota-Rojas, D., Álvarez, A., Bertoni, A. Molina S., José, N., López, G., Mora, P., Guerrero, I., & Napolitano, F., 2019c. Capítulo 8. La importancia de los animales en labores rurales: tracción, transporte y carga. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Napolitano, F., Serrapica, F., De Rosa G. et al. 2019d. Capítulo 9. La búfala de agua durante el parto y ordeño: respuestas fisiológicas y conductuales. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 154-191), Segunda edición. México, BM Editores.
- Mota-Rojas, D. Napolitano, F., Sarubbi, J., Braghieri, A., Martínez-Burnes, J., Bertoni, A., Ghezzi, D. et al. 2019e. Capítulo 16. Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja” en Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques

prácticos y experimentales (p. 512-538), Segunda edición. México, BM Editores.

Mota-Rojas, D., Ghezzi, M.D.; Sarubbi, J., Napolitano, F., José-Pérez, N., Braghieri, A., Martínez, G.M.; Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I., Barrios, H., Martínez-Burnes, J. 2019f. Capítulo 17. Importancia de la sombra natural o artificial y su efecto en los indicadores fisiológicos y de comportamiento en el búfalo de agua, bovino europeo y bovino índico. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 539-581), Segunda edición. México, BM Editores.

Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A., Martínez-Burnes, J., Álvarez-Macías, A., Orihuela, A., 2020a. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. J. Anim. Behav. Biometeorol. 9,2103. <https://doi.org/10.31893/jabb.21003>

Mota-Rojas, D., Ghezzi, D., Napolitano, F., Rosmini, M., Guerrero-Legarreta, I., Martínez-Burnes, J., Lezama-García, K., Miranda-Cortés, A., Thielo de la Vega, L., Mora-Medina, P., Hernández-Ávalos, I., 2020b. Quality of death in the river buffalo (*Bubalus bubalis*). J. Anim. Behav. Biometeorol. 2021. 9, 2115. <https://doi.org/10.31893/jabb.21015>

Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Strappini, A., Orihuela, A., Ghezzi, M., Hernández, A.I., Mora-Medina, P., Whittaker, A., 2020c. Pain at the slaughterhouse in ruminants with a focus on the

neurobiology of sensitisation. *Animals*, 11, 1085.
<https://doi.org/10.3390/ani11041085>

Nakamura, K., Kohda, T., Umeda, K., Yamamoto, H., Mukamoto, M., Kozaki, S., 2010. Characterization of the D/C mosaic neurotoxin produced by *Clostridium botulinum* associated with bovine botulism in Japan. *Vet. Microbiol.* 140, 147–154.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2009.07.023>

Napolitano, F.; Mota-Rojas, D.; Guerrero Legarreta, I.; Orihuela, A. The Latin American river buffalo, recent findings. In spanish: El búfalo de agua latinoamericano, hallazgos recientes. 3a edición; BM Editores press. Mexico city, Mexico, 2020; pp. 1-1558. <https://www.researchgate.net/profile/Fabio-Napolitano-2/research>

Naveena, B.M., Kiran, M. 2014. Buffalo meat quality, composition, and processing characteristics: Contribution to the global economy and nutritional security. *Anim. Front.* 4:18-24.

Nordin, Y., Abdullah Sani, R., Rosalan, A., Ghadzi, M., 2004. Productivity of swamp buffaloes under three production systems. *J. Trop. Agric. Food. Sci.* 32: 229–234.

Novelli D., 2019. Descubren un virus de búfalos que contagia a vacas. *RIA V.* 45 N° 2 140 -145

Otaka, D.Y., Barbosa, J.D., de Souza, L.A., Moreira, C., Ferreira, M.R.A., Donassolo, R.A., Conceição, F.R., Salvarani, F.M., 2019. Recombinant vaccine against botulism in buffaloes: Evaluation of the humoral immune response over 12 months. *Anaerobe.* 63, 102201.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2020.102201>

- Patiño E.M., 2009. El búfalo. Leche bubalina: producción mundial. Comparación con la leche bovina. Alimentos funcionales derivados de la leche. Revista de Producción Animal. http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/razas_de_bufalos/65-bufalo.pdf
- Patiño, E.M., Crudeli, G.A., Mitat Valdés, A., 2016. Origen, Distribución y Razas, in Crudeli, G.A, Konrad, J.L., Patiño, E.M. (Eds.), Reproducción en Búfalas. Moglia ediciones, Argentina.
- Pramod, S., Sahib, L., Becha, B.B., Venkatachalapathy, T.R., 2018. Rendimiento de crecimiento de terneros de búfalo murrah en condiciones tropicales húmedas de kerala. Revista de investigación animal. 8, 1125-1128.
- Puspitasari, Y., Annas, S., Adza-Rina, M.N., Zamri-Saad, M., 2019. In-vitro phagocytosis and intracellular killing of Pasteurella multocida B:2 by phagocytic cells of buffaloes. Microb. Pathog. 131, 170–174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.04.012>
- Rafidah, O., Zamri-Saad, M., Nasip, E., Shahiruddin, S., Saharee, A., 2010. Análisis de brotes de septicemia hemorrágica en bovinos y búfalos en Malasia. Online J. Vet. Res. URL <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113091216> (accessed 9.7.20).

- Rafidah, O., Zamri-Saad, M., Shahirudin, S., Nasip, E., 2012. Efficacy of intranasal vaccination of field buffaloes against haemorrhagic septicaemia with a live *gdhA* derivative *Pasteurella multocida* B:2. *Vet. Rec.* 171, 175. <https://doi.org/10.1136/vr.100403>
- Ramos, A. A., DeSouza, J. ., Malhado, C.H.M., Jorge, A.M., Ferraz Filho, P.B., DeFreitas, J.A., & Lamberson, W.R., 2007. Evaluation of water beef buffalo from birth to two years using different growth curves. *Ital. J. Anim. Sci.*, 6(sup2):318-320.
- Rao, V. A., Thulasi, G., Ruban, S. W., & Thangaraju, P., 2009. Optimum age of slaughter of non-descript buffalo: carcass and yield characteristics. *Thai J. Agric. Sci.*, 42: 133-138.
- Rashad, A.M.A., EL-Hedainy, D.K., Mahdy, A.E., Badran, A.E., El-Barbary, A.S.A., 2019. Utilization of live body weight, measurements, and eye muscle components to predict carcass performance of fattened Egyptian male buffalo calves. *Trop. Anim. Health Prod.* 51, 2405–2412. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01950-x>
- Salvarani, F.M., Otaka, D.Y., Oliveira, C.M.C., Reis, A.S.B., Perdigão, H.H., Souza, A.E.C., Brito, M.F., Barbosa, J.D., 2017. Type C waterborne botulism outbreaks in buffaloes (*Bubalus bubalis*) in the Amazon region. *Pesqui. Vet. Bras.* 37, 697–700. <https://doi.org/10.1590/s0100-736x2017000700008>
- Tamburrano, A., Tavazzi, B., Callá, C.A.M., Amorini, A.M., Lazzarino, G., Vincentin, S., Zottola, T., Campagna, M.C., Moscato, U., Laurentis, P. 2019. Biochemical and nutritional characteristics

of buffalo meat and potential implications on human health for a personalized nutrition. Italian J. Food Safety 8,8317.

Tariq, M., Younas, M., Khan, A.B., Schlecht, E., 2013. Body measurements and body condition scoring as basis for estimation of live weight in Nili-Ravi buffaloes. Pak Vet J. 33, 325-329.

Terzano, G.M., Mazzi, M., d'Elisi, M.G., Cuscunà, F.P., Borghese, A., Martiniello, P., Pacelli, C., 2007. Effect of intensive or extensive systems on buffalo heifers performances: Body measurements and respective indices, Italian Journal of Animal Science. 6:sup2, 1237-1240. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.1237>

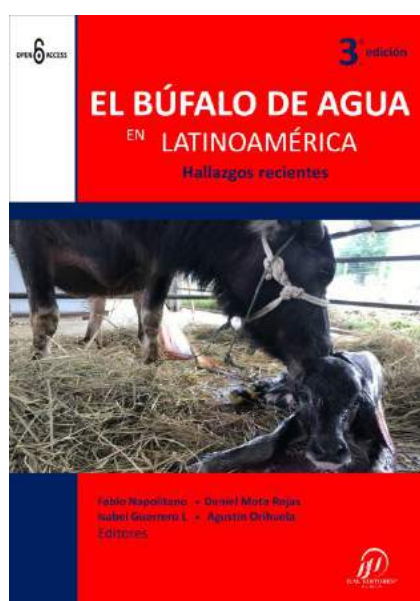
Travaini, A., Astrada E., Cadoppi, A., 2019. Búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) en el Delta del Río Paraná. Serie Ganadería en Humedales. Rubén D. Quintana, (editor). © 2019 Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International. Buenos Aires, Argentina. pp. 1-24.



CAPÍTULO 9

LOS ANIMALES DE TRABAJO: ACTORES ANÓNIMOS EN EL MEDIO RURAL

Daniel Mota-Rojas, Adolfo Álvarez-Macías, Fabio Napolitano, Rosy Cruz-Monterrosa,
Aldo Bertoni, Sucel Molina, Patricia Mora-Medina, Marcelo Daniel Ghezzi
y Efrén Ramírez-Bribiesca



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 9

Los animales de trabajo: actores anónimos en el medio rural

Daniel Mota-Rojas¹, Adolfo Álvarez-Macías¹, Fabio Napolitano², Rosy Cruz-Monterrosa³, Aldo Bertoni¹, Sucl Molina⁴, Patricia Mora-Medina⁵, Marcelo Daniel Ghezzi⁶ y Efrén Ramírez-Briebesca⁷

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.

²Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

³Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana-Campus Lerma. Lerma, México.

⁴Especialidad en Lácteos y procesos Cárnicos. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

⁵Departamento de Ciencias Pecuarias, FESC. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

⁶Área Bienestar Animal-Producción Bovinos. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

⁷Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.

INTRODUCCIÓN

Los animales han acompañado a las sociedades en su evolución cultural y económica, en especial, en las actividades rurales y asistiendo en los procesos de modernización de las actividades agropecuarias. Para ello, las sociedades rurales han procedido a procesos de selección de especies y razas que respondan a sus necesidades específicas, las cuales cambien de un contexto a otro. A pesar de que con los procesos de automatización los animales han perdido relevancia, siempre han contribuido al aprovechamiento de los recursos disponibles, en aras de asegurar la alimentación humana

y, más ampliamente, la generación de riqueza (Mota-Rojas et al., 2019a,b; 2020).

Los animales de trabajo también figuran por su aporte al sustento de miles de familias en los países en vías de desarrollo, ya que además de su función productiva, suele participar transportando los productos de las fincas a los mercados, trabajando en la industria de la construcción e, incluso, coadyuvando en actividades turísticas y de entretenimiento (Mota-Rojas et al., 2019b). Las familias rurales y, comúnmente, los niños participan de manera activa en las prácticas de manejo asociadas a estos animales, como los équidos de trabajo y, por lo tanto, inciden de manera importante en su bienestar (Tadich et al., 2016).

Desde una perspectiva normativa, el ser humano debería brindar protección a este tipo de animales, incluso garantizar su calidad de vida, no solo por el valor que generan como medios de trabajo, alimento y en la generación de ingresos, sino porque valorar el bienestar animal es un fin en sí mismo y debería ser suficiente incentivo (Fraser et al., 1997). La sucesión tecnológica en función de la escala de unidades productivas estimuló en el pasado el recurso de la fuerza animal, ya que fue parcialmente aplicada por productores conforme aumentaba la escala de su finca; sin embargo, en la actualidad todavía tiene una función vital para productores de pequeña escala y/o bajos recursos, que la integran a labores de cultivo, plantación y como medio de transporte y carga (Callene, 2015;

Chastain y Vellios, 2018). Entre los animales que se consideraron inicialmente para labores agrícolas debido a su gran capacidad de respuesta han figurado los burros, seguidos de otras especies como bueyes, caballos, mulas, búfalos de agua y camellos (Hu et al., 2020; Mingala et al., 2017; Mota-Rojas et al., 2019b).

El recurso a los animales de trabajo predomina entre pequeños productores y/o para unidades de producción con terrenos que imposibilitan el acceso al trabajo mecanizado y, según el tipo de orografía y de suelos, se priorizan unos u otros: en terrenos planos y secos se han recurrido comúnmente a burros, caballos y camellos, mientras que en partes montañosas y en suelos arcillosos e inundados se incorporan principalmente bueyes y búfalos, que han demostrado mayor capacidad de arrastre (Arriaga-Jordán et al., 2005; Mingala et al., 2017; Mota-Rojas et al., 2016).

Por otro lado, en la capacidad de los humanos para percibir y valorar las necesidades de otros seres vivos radica parte clave del proceso para brindarles protección, que se construye sobre el conocimiento de las características y necesidades de otro ser vivo, en este caso, de los animales de trabajo; por ello, es importante inducir el cambio de actitudes para que su protección y su bienestar se apeguen a los preceptos del desarrollo sustentable (Myers et al., 2003; Tadich et al., 2016; Mota-Rojas et al., 2019a; Mota-Rojas et al., 2020).

La contribución de estos animales alivia el trabajo del propietario ante labores de cultivo, carga y transporte, pero también expresan un valor

económico, cuyo ingreso bruto medio total asciende a \$490.78 dólares al año por unidad de producción, esto de acuerdo con una evaluación a unidades agrícolas de pequeña escala en México (Arriaga-Jordán et al., 2005).

Por otra parte, en Asia y en algunos países de Latinoamérica, el búfalo ha figurado como uno de los pilares en las actividades agrícolas (Mingala et al., 2017), gracias a su mansedumbre y eficiencia, siendo esta última descrita en ciertas circunstancias como superior a la del tractor, con tan solo un par de búfalos, generando beneficios adicionales para del productor al eliminar o reducir costos de combustible y mantenimiento de maquinaria (Nanda y Nakao, 2003). Sin embargo, es importante que el agricultor considere las demandas de sus animales y no incurra en un inadecuado de manejo como ocurre con las jornadas de trabajo excesivas, especialmente en los períodos de siembra y cosecha, y la ausencia de asistencia técnica y médica preventivas; ello sin duda merma su calidad de vida así como su rendimiento laboral (Makki y Musa, 2011).

Considerando lo antes expuesto, en el presente capítulo se discuten los hallazgos vinculados a la trascendencia de los animales en las labores rurales, como las agrícolas desde la antigüedad, la relación entre este tipo de animal y las familias rurales, la calidad de vida del animal de carga o tracción, así como su estado de salud cuando es vendido en mercados ganaderos al terminar su vida útil. A pesar de una exhaustiva búsqueda bibliográfica, los materiales identificados y

analizados han sido limitados, por lo que la presente contribución puede considerarse una especie de estado del arte sobre el tema y, en especial, una invitación a retomar y profundizar sobre su estudio.

RASGOS HISTÓRICOS DE LOS ANIMALES EN LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS

A lo largo de la historia de la humanidad, se han producido importantes cambios en la producción agrícola y pecuaria con la finalidad de responder a las demandas crecientes de alimentación así, como a las actividades dominantes en cada medio sociocultural y económico. En este proceso, la adopción de especies domesticas con gran capacidad para realizar labores agrícolas se ha integrado a los modelos productivos en constante evolución (Chastain y Vellios, 2018). Una de las primeras especies que se domesticó fue el ganado bovino del género *Bos*, cuyos orígenes se remontan hacia el año 7000 a.C en Asia occidental. Dada la fortaleza de la especie, fue entrenada para fines de tiro, originando un impacto significativo entre los primeros agricultores a través del arado de la tierra (Callene, 2015). **(Figura 1).**



Figura 1. Bovinos del género *Bos* en apoyo a labores agrícolas

Las estrategias implementadas para domesticar a los bovinos y caballos, se basaron en el uso de cuerdas y nudos simples, los cuales datan aproximadamente de hace 6,000 años en el caso de los egipcios (Chastain y Vellios, 2018). Del mismo modo, en Estados Unidos, con los

bovinos del género *Bos* se implementó el uso del látigo a fin de ejercer un ruido del lado opuesto de la dirección que se deseaba orientar a los animales (Chastain y Vellios, 2018).

Por su parte, el yugo también ha fungido un papel muy notable; consiste en un poste redondo colocado a través del cuello del animal utilizado principalmente por los europeos y en Nueva Inglaterra, el cual se apoya contra la jiba de los bovinos para potenciar su capacidad de arrastre de la carga (Callene, 2015).

Por su parte, los burros fueron domesticados entre el año 4,000 y 3,000 a.C. con la finalidad de transportar cargas pesadas. Se consideraban valiosos para el comercio, a tal grado que fueron valorados en ceremonias egipcias, dado que se registró el entierro de diez burros en la morgue real, probablemente durante el reinado de Horus-Aha, para asegurar su presencia y su ayuda en la otra vida (Rossel et al., 2008; Hu et al., 2020).

Como antecesores de los caballos, los burros fueron utilizados como método de transporte y su uso masivo lo efectuaron los griegos y romanos por Europa y Asia occidental (Hanot et al., 2017; Hu et al., 2020) (**Figura 2**).

En tanto que los caballos se han utilizado como animales de carga por más de 6,000 años, y sus orígenes parten desde la región euroasiática, de Ucrania hasta Siberia y Mongolia. Los primeros registros de su domesticación y crianza se han hallado en Kazajistán con fines de alimentación. Posteriormente se consideró la fuerza, velocidad y

resistencia en el Medio Oriente, por lo cual tomaron una función protagónica en la logística militar.

Cabe subrayar que la preferencia por las mulas sobre el caballo como animal de carga, se debió a que pueden prosperar con base en alimentos de baja calidad y con consumo restringido de agua; además que presentan una piel más gruesa, que genera mayor resistencia al uso de la silla o equipos de monta que les incorporan y, por tanto, el número de lesiones se reducía de manera drástica (Chastain y Vellios, 2018).

En lo referente a la domesticación del búfalo se ha documentado desde hace 5,000 a 7,000 años aproximadamente, pero también se ha estudiado que el origen de la domesticación data del año 2000 aC en Mesopotamia y el valle indio (Mingala et al., 2017). Entre las características que sobresalen del búfalo están sus pezuñas fuertes y largas, que les permiten un mejor desempeño en suelos agrícolas pesados, es decir, arcillosos que se suelen inundar con facilidad y, por ende, exigen mayor capacidad de tracción.

Adicionalmente, detentan una gran fuerza y su ciclo de vida como animal de trabajo puede ser amplia, de una a dos décadas (Pal and Chatterjee, 2013, Chantalakhana y Bunyavejchewin, 1994; Mingala et al., 2017).

En esta participación de los animales de trabajo en las actividades agrícolas, vale la pena ponderar su contribución económica. Para ello se retoman los hallazgos de un amplio trabajo desarrollado en África, cuyos resultados porcentuales se observan en el Cuadro 1.

En efecto, el valor agregado del ganado en sistemas agropecuarios, a través de la tracción animal y el estiércol suele ser tan o más importante que el de la carne o leche; por ejemplo, en África del Este, en donde los dos primeros conceptos suman 42% del total, contra 38% de la carne y 17% de la leche.

En contraste, en África Central, el recurso de la tracción animal y el abono resultó marginal; sin embargo, en las otras cuatro regiones africanas que se aprecian en el mismo Cuadro 1, sí fue relevante. Aunque este estudio no es del todo reciente, consigna una contribución de los animales de trabajo que suele ser subestimada.

Insumo/ Producto	África del Oeste	África Central	África del Este	África del Sur	África Subsahariana
Tracción animal	21	3	39	26	31
Abono	4	1	3	2	3
Carne	56	79	38	58	47
Leche	11	12	17	9	15
Huevo	8	5	3	5	4

Cuadro 1. Valor agregado generado por los animales en sistemas agropecuarios de África (Porcentaje) (Ogle, 1996, tomado de Liniger et al., 2011)

COMPARACIÓN DE FUENTES DE TRACCIÓN EN LABORES AGRÍCOLAS

En países en desarrollo y en transición, los animales destinados a labores rurales han desempeñado un papel esencial. En países como Cuba y algunos países del sur de Asia satisfacen más del 35% de la demanda energética utilizada para labores agrícolas a partir de

animales destinados para dichas tareas (García et al., 2014). La energía proveniente de animales resulta ser accesible a los pequeños productores ya que les permite aumentar la eficiencia y la productividad. Evidencias disponibles muestran que los agricultores que utilizan energía animal generan mayores beneficios económicos en comparación con los que realizan actividades de forma manual, debido a que los primeros logran tener mayor eficiencia y eficacia en sus procesos productivos. Dicho lo anterior, la tracción animal puede sustituir un gran número de labores que se realizan de forma manual (Zhou et al., 2018).

Sin embargo, en algunos sistemas de producción de mayor escala e intensificación han ido adoptando máquinas agrícolas que gradualmente han reemplazado a la energía animal (Díaz y Winter, 2021).

En un estudio realizado por García et al. (2014) se evaluó la utilización del cultivador-yunta y cultivador-tractor en labores de cultivo de frijol, tomate y papa con la finalidad de evaluar los gastos energéticos y económicos. Los resultados obtenidos denotaron que el tractor-cultivador es más eficiente desde el punto de vista económico y energético. Del mismo modo, Rahman et al. (2011) compararon el rendimiento y los costos variables del trigo utilizando energía animal contra energía mecánica. Los rendimientos del trigo fueron de 2.65 t/ha con energía mecanizada y 2.57 t/ha con energía animal, respectivamente. Los costos variables fueron significativamente mayores ($p < 0.05$) utilizando energía animal.

Tanto la energía animal como la energía mecánica presentan impactos positivos en la producción y un efecto positivo en las necesidades de mano de obra, no obstante, aunque la segunda es aún más eficiente que la primera, se deben de considerar mayores costos de inversión por conceptos de infraestructura y equipamiento así como un mayor requerimiento de insumos, y personal calificado para operar el equipo mecanizado (García et al., 2014; Zhou et al., 2018). Para pequeños y medianos productores les resultan más accesibles inversiones mucho menores, por lo cual acoplan energía animal, dado que pueden mantener a este ganado con residuos de la cosecha y las inversiones se limitan a la adquisición de los aperos o arneses (García et al., 2014). Es cierto que eficiencia la económica y productiva es mayor utilizando procesos mecanizados que con la fuerza animal, no obstante, la visión que se considera en los estudios mencionados se realiza de forma parcial ya que no se consideran preceptos de producciones sustentables (Rahman et al., 2011). La fuerza animal aporta abono al suelo en forma de excretas líquidas y sólidas, por lo cual, cuando se adopta la fuerza mecánica se debe de optar por un aporte nutricional al suelo a partir de insumos externos, como lo son los agroquímicos (Bonaudo et al., 2014). En ese orden de ideas, la energía utilizada para la tracción animal y mecánica es similar, la diferencia radica en que la primera puede responder a lineamientos agroecológicos en función de una correcta gestión de las interacciones biológicas y, la segunda, deriva principalmente de combustible fósil además de incidir en una mayor compactación de los suelos (Acosta-Alba et al., 2012).

El uso correcto de la fuerza animal desde un punto de vista agroecológico y de bienestar animal reside en las interacciones positivas del humano con el animal y en favorecer los procesos biológicos inherentes en la relación suelo-animal-planta.

Un estudio realizado por Brooke en India ha demostrado que la optimización de la ingesta nutricional mediante la elaboración de una ración equilibrada ha supuesto, según los propietarios, una mejora del bienestar de sus caballos y mulas y un refuerzo de su energía y vivacidad, además de suponer un ahorro de costos. Es probable que un animal más sano y con mayor nivel de bienestar genere beneficios para sus propietarios no sólo en términos de rendimiento, sino también apoyándolos en diversas tareas domésticas y facilitando las "conexiones sociales" dentro de las comunidades (Brooke, 2016).

REPERCUSIONES DE LA INTERACCIÓN HUMANO-ANIMAL

Como piedra angular de la domesticación y el aprovechamiento de los animales en labores agrícolas, la interacción humano-animal resulta fundamental para mejorar el bienestar de ambos (Luna y Tadich, 2019) y es considerado un factor importante en especies de trabajo, dado que previene que los animales sientan temor, lo cual es común cuando son manipulados por distintas personas, generando reacciones negativas del animal. Este vínculo también favorece que los animales sean más sociables después de habituarse a rutinas que imponen los humanos y, en esa medida, se reducen los episodios de estrés y, por

ende, mejore su bienestar y se prevengan enfermedades (Pritchard et al., 2005) (**Figura 2**).



Figura 2. La interacción humano-animal positiva es fundamental, no solo es un aspecto de bienestar para el animal, sino además una postura ética frente a seres vivos que apoyan en el trabajo rutinario. No es suficiente con mantenerlos sanos y bien alimentados, también se debe tomar consciencia que sienten y experimentan emociones, por lo resulta esencial generar un ambiente de confort animal (Mota-Rojas et al., 2016; Mota-Rojas et al., 2018; Mota-Rojas et al., 2019b; Mota-Rojas et al. 2020). (Fotos cortesía, “PhD student Alex Cuibus”, Rumania).

Al respecto, en una investigación conducida por Kling-Eveillard et al. (2020), se evaluó la interacción entre ganaderos y bovinos, a través de una encuesta *ex profeso*, analizando los resultados por temas. Entre los resultados destacó que la mayoría de los ganaderos no atinaba a definir correctamente su relación con los animales y solían limitarlo a un vínculo personal con el cual no se sentían identificados; otros mencionaron que la relación humano-animal se asocia al bienestar animal, específicamente en que los animales no sintieran miedo y, en cambio, actuaran con confianza y eso lo relacionaban con alcanzar adecuados parámetros productivos, así como buenas condiciones y equipos de trabajo.

Así mismo, un bajo nivel de bienestar en los equinos de trabajo, de acuerdo con lo descrito por Swann (2006), de la “Asociación Broke”, donde utilizó un protocolo de evaluación de comportamiento y aspectos físicos en animales de países en desarrollo. Se detectó que debido a un bajo nivel de confort los animales no interactuaban con los humanos y tampoco denotaron interés en su entorno, lo que se atribuyó a que los animales presentaban lesiones que provocaban dolor crónico. El estrés por calor y la fatiga crónica pueden ser factores aditivos que coartan el nivel de bienestar animal.

Por ende, la valoración de atributos psicológicos como la empatía hacia los animales y la percepción de sus padecimientos por parte del propietario resultan fundamentales en una evaluación de bienestar, en la cual la relación positiva humano-animal comúnmente repercute

en un creciente desempeño del animal en las labores agrícolas (Luna y Tadich, 2019).

CALIDAD DE VIDA DEL ANIMAL DE TRANSPORTE Y CARGA

Es frecuente que los agricultores o los gestores que utilizan la fuerza animal en labores agrícolas ignoren o subestimen la relevancia de la relación humano-animal, así como las características anatómicas y fisiológicas de los mismos, lo cual suele derivar en su manejo inadecuado y, por ende, que los animales presenten fatiga, desnutrición, enfermedades y, en última instancia, que revelen un pobre desempeño. El problema se acentúa si los agricultores no reaccionan adecuadamente, recurriendo a golpes, torsión de cola o pinchazos y, como consecuencia, se agravan lesiones con escoriaciones, llagas, hematomas o cicatrices, entre otros daños (Ramaswamy, 1998; Mota-Rojas et al., 2016).

Por ello, la evaluación de bienestar animal en equinos de trabajo se ha basado en parámetros de salud y comportamiento de los animales, como la presencia de cojeras, heridas y baja condición corporal (Pritchard et al., 2005).

Alrededor del 90% de los equinos que son utilizados como animales de carga presentan cojeras, como consecuencia del volumen y peso de la carga que tiran, lo cual empeora en los animales que padecen otros problemas como desnutrición, deshidratación u otros malestares y suelen recorrer caminos duros y/o secos. Esto deriva de la falta de

cuidados de patas, de herraje inadecuados y, más ampliamente, de la ausencia de medidas de bienestar animal (Swann, 2006) (**Figura 3**).



Figura 3. Burro de trabajo. Con frecuencia se valora como un animal de carga y dócil y, por ello, se le somete a malos tratos, a pesar de que a menudo padece de un pobre nivel de bienestar, no solo por el trabajo físico *per se*, sino además por laborar en condiciones de hambre y sed que experimenta durante largas y arduas jornadas de trabajo.

Cabe resaltar que prácticamente la totalidad de los burros de trabajo pueden manifestar afecciones por parásitos, de acuerdo a lo identificado por Attia et al. (2018), quienes al examinar a 120 burros en Egipto determinaron la presencia de al menos un parásito en cada individuo, siendo *Cylicocyclus asini* el más frecuente (en el 91.7% de los casos), seguido de *Cyathostomum spp.* (con el 83.3% del total). Ante ello, resulta fundamental la implementación de un programa de desparasitación para este tipo de animales a fin evitar estos problemas de su salud.

Cabe agregar que los animales de tiro son omitidos en la mayoría de los sistemas nacionales de sanidad animal: no están incluidos en las estrategias nacionales de erradicación de enfermedades, y de vacunación, en las políticas de sanidad animal y de cría, en las leyes ni en las recomendaciones en este sentido. Numerosas enfermedades de declaración obligatoria incluidas en la lista de la OIE afectan a los animales de tiro, pero no son objeto de vigilancia (Brooke, 2016).

En cuanto a los bovinos como animal de trabajo otro estudio cuyo objetivo consistió en evaluar el manejo de los bueyes de tiro a través de parámetros de salud, alimentación, vivienda, estrategias de trabajo y cuidado, mostraron que el 78% de los agricultores no los llevó de forma regular a los servicios veterinarios; en cuanto a la alimentación, los investigadores se percataron de que el 66% de los individuos no recibía ni la cantidad ni la calidad necesaria de alimento y, en su mayoría (76%), se mantenían atados a la intemperie. Sin embargo, el

factor más crítico fue el inadecuado uso del yugo (arnés), que fácilmente provoca llagas y heridas, dado que el 99% de los agricultores no lo limpia y en su mayoría no disponen de cojines que eviten el roce con la piel.

Del mismo modo, el arado oxidado y la falta de conocimiento sobre el adecuado almacenamiento de este equipo al finalizar los trabajos agrícolas, coadyuva a que se presenten lesiones e, incluso, que se detecten infecciones en estos animales (Makki, 2014).

Otra de las causas del maltrato animal reside en la duración de las jornadas de trabajo, ya que se ha estimado que éstas suelen ser extensas (alrededor de 6 a 10 horas por día) en el 56% de los agricultores y, en los lapsos con alta demanda de trabajo agrícola (siembra y cosecha, en especial), se les suelen asignar jornadas más amplias en menoscabo de su de por si bajo nivel de bienestar (Makki y Musa, 2011).

Por otro lado, la mala colocación de las herramientas de trabajo sobre los animales al momento de ejecutar las labores agrícolas y de transporte, con frecuencia ocasiona lesiones cutáneas. Es el caso de la silla de montar, la cual puede generar llagas a causa de la fricción y la presión excesiva (Hovell, 1998). Lo anterior podría reducirse a través de un correcto equipamiento y con adecuados métodos de sujeción sobre el animal. En el caso de animales de tiro es fundamental prestar atención al equilibrio en la construcción del carruaje o carreta al igual que a la forma en la que se sujeta al animal, procurando que la fuerza

de tiro sea el resultado de empujar un collar con la menor presión y arrastre en la espalda (Hovell, 1998) (**Figura 4**).



Figura 4. Colocación de aperos o arneses a búfalo de agua para jalar una carreta. A. Instalación de alfombras de algodón. B. Lomillos. C. Arnés, collar y cincho. D. Equipamiento completo y anclaje de carreta. El diseño y los materiales utilizados como equipamiento en animales destinados a labores de trabajo rural deben generar una transmisión eficaz del esfuerzo para efectuar un trabajo sin padecimientos y que evite algún tipo de lesión o incomodidad en el nivel de confort del búfalo.

Tras disminuir su eficiencia como animal de trabajo, la gran mayoría son destinados a rastro, previo a ello, regularmente sufren caídas, golpes y resbalones durante su transporte, obligándolos a pasar por rampas y puertas a través de los cuales serán cargados y descargados de los vehículos. Esto ocasiona que los animales se lesionen y exhiban ulceraciones, laceraciones, sangrados, dislocaciones, fracturas, hematomas musculares, así como colas, cuernos y narices rotas, daños asociados al amontonamiento de animales y a la falta de espacio durante el transporte (Gregory, 2008).

El estrés originado en este tipo de animales también representa un factor negativo, el cual suele ser mayor antes de que sean transportados y disminuye una vez que los animales llegan al centro de matanza (Gregory, 2008).

EL BÚFALO COMO ANIMAL DE CARGA, TRACCIÓN Y TRANSPORTE

Hasta el momento se ha abordado la participación del caballo, mula, burro y buey en la implementación de actividades de tiro, tracción y transporte y solo se ha hecho referencia colateral al búfalo de agua, el cual también ha jugado un papel destacado en su relación con las sociedades rurales. Especialmente en Asia y en algunos países de Latinoamérica, el búfalo de agua ha figurado como una excelente opción de animal de tiro (Mingala et al., 2017), gracias a la fuerza y a la velocidad con que ejerce su trabajo, que lo ha posicionado como uno de los preferidos en estas labores (**figura 5**).

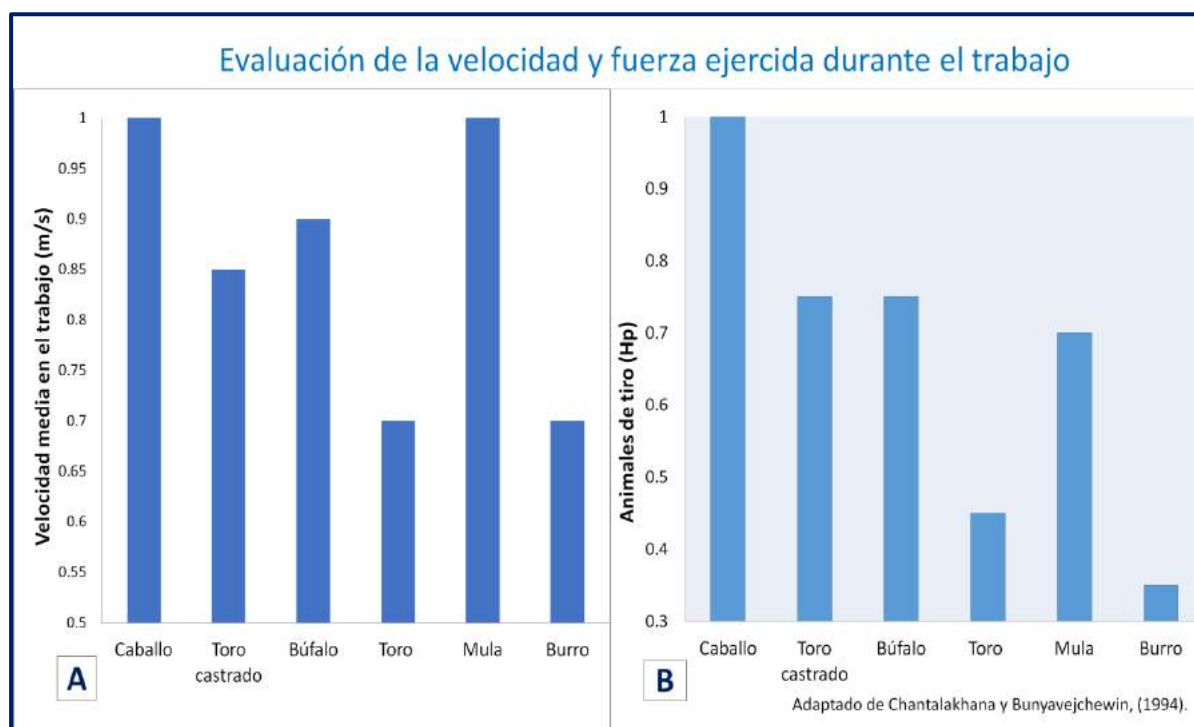


Figura 5. Eficiencia del caballo, toro castrado, toro, mula y burro como animales de trabajo. A) Muestra la velocidad media ejercida durante el trabajo. El caballo y la mula denotan una velocidad media de 1 m/s, seguido del búfalo, con una mínima diferencia de velocidad de 0.1 m/s, mientras que el toro castrado registra una velocidad de 0.85 m/s, de esta forma tanto el toro y el burro muestran la velocidad más baja durante el trabajo con una velocidad media de 0.7 m/s. **B)** Refleja la fuerza empleada para el trabajo de carga. Nótese la eficiencia del caballo, al expresar 1 hp (caballos de fuerza) mientras que el búfalo y el toro castrado registran 0.75 hp; en contraste el toro y el burro manifiestan una fuerza de 0.45 y 0.35 hp respectivamente.

El búfalo de agua generalmente es más dócil, permitiendo al agricultor entrenarlo para actividades relacionadas con el uso de arado, rastrillo, trineo y carreta. A pesar de moverse más lento que los caballos y mulas, demuestran ser eficientes, especialmente en terrenos inundables, es decir, en suelos arcillosos que son pesados (Chantalakhana y Bunyavejchewin, 1994), lo que muy posiblemente

resida en la fuerza de los cascos y en cierta resistencia de éstos a enfermedades (Assis et al., 2017). Se aúna a lo anterior, la vida productiva del búfalo como animal de trabajo, ya que muestra una vida productiva eficiente que puede llegar hasta los 15-20 años con un peso de 380 kg antes del sacrificio (Mingala et al., 2017).

En la India, el búfalo de agua proporciona cerca de 30% de energía en la agricultura, además de ser el animal más eficiente en este aspecto en comparación a los bovinos tradicionales del género *Bos* (Escarcha et al., 2018; Warriach et al., 2015).

En Asia ha contribuido en plantíos de arroz, con razas predominantes como la Manda y Palakhemund (Nanda y Nakao, 2003). Otras razas como la vietnamita, Carabao (**Figura 6**), búfalo Chino (Binhu), búfalo egipcio, Kundi (Pakistán) y Nili-Ravi también poseen características favorables para ejecutar tareas de tiro (Mingala et al., 2017).



Figura 6. Búfala raza Carabao. A diferencia de la gran mayoría de las razas, los búfalos Carabao son denominados búfalos de pantano. Es una raza destinada al trabajo y a la producción de carne (Bertoni et al., 2019). Los animales de esta raza radican principalmente en países de oriente y en algunos países de América (Patiño et al., 2016). Dicha raza se caracteriza por su coloración gris pardo con coloraciones blancas, cuerpo compacto con vientre ancho y extremidades cortas. Los machos adultos pesan alrededor de 650 kg y las hembras cerca de 500 kg (Almaguer, 2007).

Actualmente en Filipinas el búfalo de agua es utilizado en la agricultura como animal de tiro por pequeños productores en su mayoría, ya que las características de esta especie lo hacen apto para el trabajo de campo, además al concluir su ciclo de vida se aprovecha su carne como fuente proteica (Escarcha et al., 2018).

En Vietnam los principales cultivos son arroz, caña de azúcar, maíz, cacahuate y soya, en los cuales el búfalo de agua tiene un papel central, figurando como la fuente principal de energía. Es utilizado como medio de transporte, en la preparación de la tierra y proporciona abono orgánico fresco para los cultivos. Es económico en cuanto a su alimentación, pues regularmente consume pastos y hierbas (algunas perjudiciales para los cultivos) nativas cercanas a las parcelas o bosques (Borguese y Mazzi, 2005). En Latinoamérica, el búfalo de agua es de gran importancia para la agroindustria de la palma.



Figura 7. Uso del búfalo de agua en la agroindustria de palma en Guatemala.

A diferencia de Filipinas y Vietnam el búfalo de agua, en países como Indonesia, Tailandia y Myanmar, ha sido sustituido paulatinamente por equipos de tracción automatizados en la agricultura para aprovechar al búfalo exclusivamente para la producción de leche, carne, así como productos derivados. Otra de las razones por la cual en estos países el búfalo va perdiendo relevancia como fuerza de trabajo es por las sequías, que parecen acentuarse por efectos del cambio climático (Deb et al., 2016; Ermetin, 2017).



Figura 8. Búfalo de agua híbrido utilizado en labores agrícolas en cultivos inundados en el continente Asiático.

ESTADO DE SALUD DEL BÚFALO DE AGUA EN MERCADOS GANADEROS

Al concluir su ciclo como animal de trabajo, éstos pueden trasladarse a mercados ganaderos para su venta como animal para el consumo o para continuar en labores de trabajo en otras unidades productivas. Los animales transportados suelen ser susceptibles a contraer todo tipo de enfermedades, debido a que no cuentan con las condiciones sanitarias indispensables para evitar la transmisión de agentes patógenos además de experimentar un bajo nivel de bienestar (Gregory, 2008). La disminución de este nivel de bienestar se debe a que los animales sufren graves lesiones, están fatigados, deshidratados y padecen estrés calórico por los largos periodos de exposición a la luz solar, dado que regularmente se carece de sombra durante el transporte (Minka y Ayo, 2007).

Una prueba de ello ha sido aportada por el estudio realizado por Alam et al. (2010a), en el cual evaluaron lesiones cutáneas de 560 animales de ganado vacuno género *Bos* (368) y 192 búfalos de agua, durante el transporte desde India a mercados ganaderos de Bangladesh. Cuando los búfalos arribaron al mercado de destino, 99% presentaron lesiones visibles en casi todo el cuerpo mientras que en los bovinos fue el 84%. Las lesiones estuvieron asociadas al transporte y erróneo manejo del personal a cargo durante el embarque y desembarque. Las lesiones con mayor frecuencia en búfalo correspondieron a abrasiones; sin embargo, independientemente del tipo de lesión, las regiones más afectadas en el búfalo fueron glúteos, cadera, y espalda (**Figura 9**).

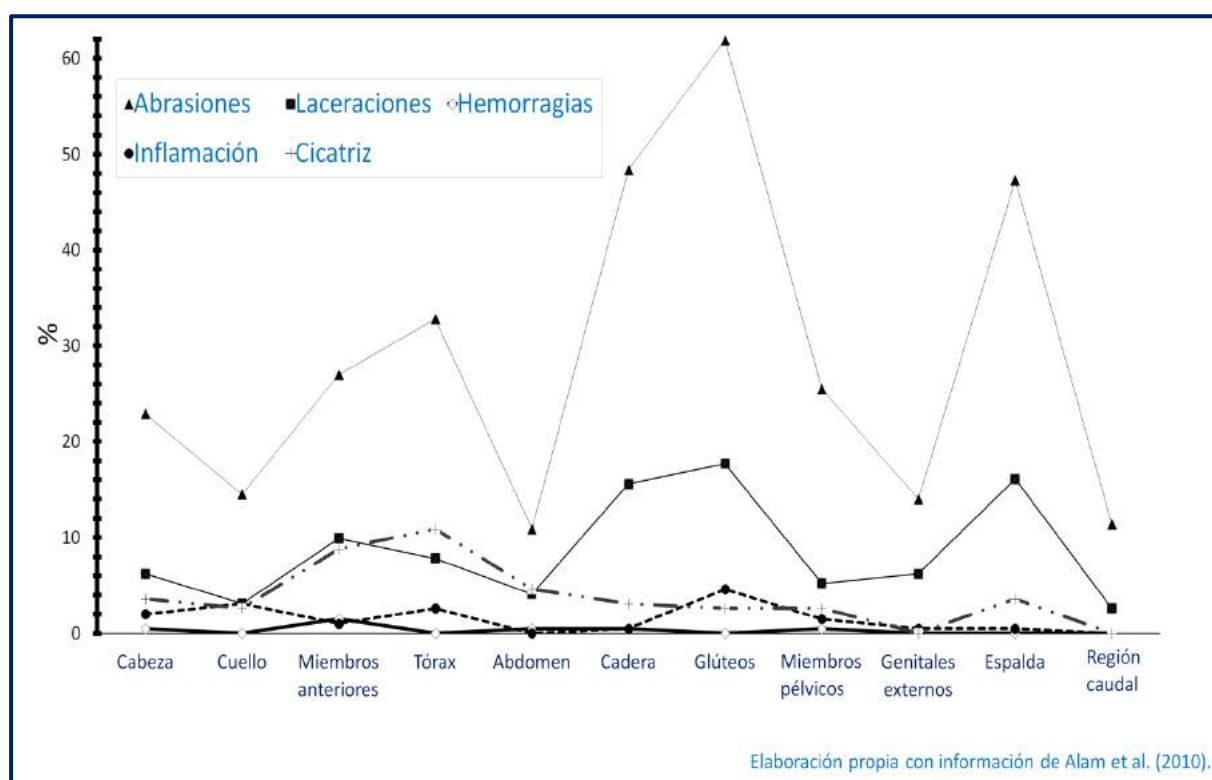


Figura 9. Lesiones en cabeza, cuello, miembros, tórax, abdomen, cadera, glúteos, genitales, espalda y región caudal en el búfalo de agua. Se evidencia que la mayoría de las lesiones corresponde a abrasiones, cuya proporción es mayor en los glúteos, presentes en 61% de los individuos, seguida de la cadera con el 48.4% y dorso con el 47.3%. Así mismo, las laceraciones corresponden al segundo tipo de herida, mostradas con mayor frecuencia en los glúteos y la espalda del búfalo con el 17.7 y 16%, respectivamente. El estudio de Alam et al. (2010), también muestra que las cicatrices se hallan principalmente en la región torácica seguida de los miembros torácicos con el 10.9 y 8.8% de los casos.

En el caso del búfalo de agua, en Asia se ha reconocido que la presencia de lesiones es muy alta, ya que los animales son transportados por largas distancias (alrededor de 1,800 km) para llegar a los mercados o tianguis ganaderos y de ahí ser distribuidos a otros mercados o a centros de sacrificio. Durante este periodo es común que los animales se lesionen ya que en raras ocasiones se cuenta con

un vehículo acondicionado y en los movimientos se producen daños como laceraciones, abrasiones y heridas profundas, a causa del roce con las vallas o muros del camión. Otra circunstancia común es que los animales se amarren de los miembros, morro y cuello, lo cual les produce dolor e incomodidad para expandir la cavidad torácica, lo que deriva en problemas respiratorios durante el viaje (Alam et al., 2010b; Gregory, 2008).

Cabe mencionar que una de las técnicas comúnmente empleadas en el manejo de los animales de trabajo es la perforación de la nariz, las que según las condiciones y comportamiento del ganado pueden generar desgarros o lesiones por frotamiento en las fosas nasales, de acuerdo a lo reportado por Alam et al. (2010c). En dicho estudio, el objetivo fue evaluar la frecuencia de lesiones en nariz y cola durante la manipulación y el transporte en 560 bovinos y búfalos de agua. Los resultados demostraron que el 47% de los animales padecía ulceraciones y laceraciones a causa de la cuerda o aro metálico en la nariz. Además, las lesiones en cola se presentaron en un 51% en los bovinos en contraste con el 15% en el búfalo. Más allá de la diferencia encontrada entre especies, se documenta la vulnerabilidad de los animales durante los traslados.

Adicionalmente, el mismo estudio contempló el análisis de biomarcadores sanguíneos (total de proteínas plasmáticas, sodio sérico, glucosa plasmática, ácidos grasos no esterificados séricos y creatina quinasa sérica), al arribo de 155 bovinos y búfalos de agua.

Entre los resultados destacó que los búfalos de agua presentaron niveles elevados de glucosa plasmática en comparación con los bovinos, pero en ambas especies los indicadores fueron superiores a los normales, con lo que quedó de manifestó cierto nivel de estrés, el cual puede ser propiciado por factores como la densidad de población de los vehículos, los cuales no son adecuados por el daño que sufren los animales, conjugado con la deshidratación y los periodos de ayuno prolongados a consecuencia del largo camino de un país a otro (Alam et al., 2010c).

En tanto, las lesiones e indicadores fisiológicos denotaron la severidad del problema ante la manipulación de animales de tiro, trabajo o desecho durante el transporte, sugiriendo la necesidad de diseñar alternativas para disminuir este impacto negativo sobre los animales.

PERSPECTIVAS

En la actualidad la fuerza animal en labores agrícolas mantiene cierta relevancia, principalmente en zonas de difícil acceso, en unidades de pequeña escala y entre productores de bajos ingresos. Además, en ciertos sistemas de producción con bajo nivel de insumos ha recobrado relevancia, por lo cual, es vital analizar con mayor énfasis las relaciones humano-animal y las formas en que esta interacción puede ser positiva, así como la anatomofisiología del animal que se utilizaría con la finalidad de elevar su calidad de vida mientras brinda su apoyo, fuerza y compañía.

La información disponible sobre los animales de carga o transporte es escasa y parcial, puesto que estos animales no se les ha reconocido su importante función económica, aunque su intervención es estratégica y, por ello, se esperaría que se les brinde más atención investigativa y operativa que favorezca sus condiciones de manejo y de bienestar animal.

En efecto, la falta de bienestar animal provoca que estos animales sufran durante prácticamente toda su vida, por lo cual es fundamental implementar protocolos de bienestar para los animales de carga y transporte.

En cuanto al búfalo de agua, que es mayormente utilizado en Asia y Centroamérica como animal de tiro y transporte en la agricultura por las características anatómicas que lo hacen un animal fuerte, se ha identificado que durante el transporte sufre lesiones visibles, por lo cual también sería preciso instrumentar medidas óptimas para su transporte, lo que supone un acondicionamiento adecuado de los vehículos.

Es importante destacar, que las labores agrícolas facilitadas por la fuerza animal se han integrado a los procesos agroecológicos de manera sinérgica, ya que el animal puede favorecer la roturación del suelo, la regeneración de la cobertura vegetal y, al reintegrar nutrientes a través de las excretas, también contribuye a la

fertilización de los suelos. Por tanto, existen las bases para fortalecer la sinergia del hombre-animal, pero también la relación suelo-planta-animal. De esta manera se podría atenuar la utilización de energía mecanizada proveniente de combustible fósil y, en condiciones específicas, perfilarse como el principal medio de tracción y transporte.

CONSIDERACIONES FINALES

Tras el paso del tiempo la función de los animales como medio de tracción y de transporte ha perdido centralidad en el medio rural, especialmente en las zonas planas donde se han desarrollado sistemas intensivos y, por ende, con altas dosis de insumos y de fuentes de energía. Sin embargo, estos sistemas tecnificados, que incluyen a la ganadería y a la forestería, han sido protagonistas de la grave crisis ambiental que se padece en el mundo.

Ante ello, el interés por los animales de trabajo ha recobrado relevancia en áreas montañosas y en unidades de productores a pequeña escala tanto para las labores de tiro como de carga e, incluso, como fuente de alimento. Sin embargo, la labor de estos animales no se ha visto compensada en su calidad de vida, pues las pocas investigaciones disponibles al respecto han reflejado la frecuente presencia de afecciones cutáneas, enfermedades y lesiones de patas y hocico que generalmente se reflejan en una disminución de su eficiencia de trabajo.

En ese marco, con el presente documento de revisión se pretende llamar la atención sobre la necesidad de relanzar las investigaciones sobre estos animales con el fin de aumentar su eficiencia en apoyo a las necesidades humanas y, al mismo tiempo, identificar prácticas de manejo que incrementen el nivel de bienestar del animal de trabajo, en beneficio de la población rural y de este tipo de animales. En especial, un correcto manejo y equipamiento del animal, resultan fundamentales para la reducción de lesiones.

Por otro lado, es preciso mencionar la labor destacada del búfalo como una especie eficiente en el trabajo agrícola, gracias a sus atributos únicos como fuerza y la dureza de sus cascos, que le da ventajas en terrenos húmedos y arcillosos, en los cuales la maquinaria suele funcionar limitadamente. Sin embargo, al término de su ciclo como animal de trabajo, équidos, bovinos de los géneros *Bos* o *Bubalus*, son sometidos a condiciones poco favorables aumentando el riesgo de enfermedades y lesiones durante su traslado a mercados ganaderos, por lo cual se debe reflexionar y actuar tanto sobre la calidad de vida como en la calidad de muerte.

Sin duda, el estudio de los animales de trabajo en las labores agrícolas desde el punto de vista de su calidad de vida, interacción humano-animal positiva y bienestar en su última etapa de su vida debe estudiarse con mayor acuciosidad, lo cual puede tomar mayor pertinencia desde un enfoque agroecológico. También debe ser un

tema de interés público, por lo que las instituciones sanitarias y de fomento deberían regular el aprovechamiento y bienestar animal.

En síntesis, a los animales de trabajo no es suficiente mantenerlos sanos y bien alimentados, la empatía hacia ellos y la percepción del dolor por parte del agricultor y la población rural, resultarán fundamentales para incrementar su productividad y mantener una complicidad que beneficie a ambas partes.

REFERENCIAS

- Acosta-Alba, I., López-ridaura, S., Werf, H.M.G. Van Der, Leterme, P., Corson, M.S., 2012. Exploring sustainable farming scenarios at a regional scale : an application to dairy farms in Brittany. *J. Cleaner. Prod.* 28, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.061>
- Alam, M.R., Gregory, N.G., Jabbar, M.A., Uddin, M.S., Kibria, A.S.M.G., Silva-Fletcher, A., 2010a. Skin injuries identified in cattle and water buffaloes at livestock markets in Bangladesh. *Vet. Rec.* 167, 415–419. <https://doi.org/10.1136/vr.c3301>
- Alam, M.R., Gregory, N.G., Jabbar, M.A., Uddin, M.S., Widdicombe, J.P., Kibria, A.S.M.G., Khan, M.S.I., Mannan, A., 2010b. Frequency of dehydration and metabolic depletion in cattle and water buffalo transported from India to a livestock market

in Bangladesh. *Anim. Welf.* 19, 301–305.

Alam, M.R., Gregory, N.G., Uddin, M.S., Jabbar, M.A., Chowdhury, S., Debnath, N.C., 2010c. Frequency of nose and tail injuries in cattle and water buffalo at livestock markets in Bangladesh. *Anim. Welf.* 19, 295–300.

Arriaga-Jordán, C.M., Pedraza-Fuentes, A.M., Velázquez-Beltrán, L.G., Nava-Bernal, E.G., Chávez-Mejía, M.C., 2005. Economic contribution of draught animals to Mazahua smallholder Campesino farming systems in the highlands of Central Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* 37, 589–597. <https://doi.org/10.1007/s11250-005-4177-3>

Assis, B.M., Vulcani, V.A.S., Silva, L.A.F., Dias, M., Pancotti, A., Lima, C.R.O., Rabelo, R.E., 2017. Biochemical composition of the hoof capsule of buffaloes and its influence on hoof quality. *Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec.* 69, 57–64. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9259>

Attia, M.M., Khalifa, M.M., Atwa, M.T., 2018. The prevalence and intensity of external and internal parasites in working donkeys (*Equus asinus*) in Egypt. *Vet. World* 11, 1298–1306. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.1298-1306>

Bonaudo, T., Bendahan, A.B., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Leger, F., Magda, D., Tichit, M., 2014. Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. *Eur. J.*

Agron. 57, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.010>

Brooke, 2016. *Travailleurs invisibles. Les contributions économiques des chevaux, mulets et ânes de trait aux moyens d'existence*, London, 43 pp

Callene, R., 2015. The art of making and ox yoke. Shop 60–64.

Chantalakhana, C., Bunyavejchewin, P., 1994. Buffaloes and draught power. *Outlook Agric.* 23, 91–95. <https://doi.org/10.1177/003072709402300204>

Chastain, C.B., Vellios, L., 2018. *Animal Handling and Physical Restraint*. CRC Press. Taylor & Francis Group, pp. 225–327. <https://doi.org/10.1201/9781315153315>

Deb, G.K., Nahar, T.N., Duran, P.G., Presicce, G.A., 2016. Safe and sustainable traditional production: The water buffalo in Asia. *Front. Environ. Sci.* 4, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00038>

Diaz L.G.F., Winter V, A.G., 2021. Investigation of viability to replace draft animals with all-wheel-drive motorcycles on small farms. *J. Mech. Des.* 143. <https://doi.org/10.1115/1.4047001>

Ermetin, O., 2017. Husbandry and sustainability of water buffaloes in turkey. *Turkish J. Agric. - Food Sci. Technol.* 5, 1673. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i12.1673-1682.1639>

- Escarcha, J.F., Lassa, J.A., Palacpac, E.P., Zander, K.K., 2018. Understanding climate change impacts on water buffalo production through farmers' perceptions. *Clim. Risk Manag.* 20, 50–63. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.03.003>
- Fraser D, Weary DM, Pajor EA, Milligan BN. 1997. Scientific conception of animal welfare that reflects ethical concerns. *Anim. Welf.* 6,187-205.
- García, A., Valdés, Y., Vargas, J., 2014. Determinación de los costos energéticos y económicos para producir un buey apto para las labores agrícolas. *Rev. Ciencias Técnicas Agropecu.* 23, 51–58.
- Gregory, N.G., 2008. Animal welfare at markets and during transport and slaughter. *Meat Sci.* 80, 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.019>
- Hanot, P., Guintard, C., Lepetz, S., Cornette, R., 2017. Identifying domestic horses, donkeys and hybrids from archaeological deposits: A 3D morphological investigation on skeletons. *J. Archaeol. Sci.* 78, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.12.002>
- Hovell, G.J.R., 1998. Welfare considerations when attaching animals to vehicles. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 59, 11–17. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(98\)00116-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(98)00116-6)
- Hu, S., Hu, Y., Yang, J., Yang, M., Wei, P., Hou, Y., Marshall, F.B., 2020.

From pack animals to polo: donkeys from the ninth-century Tang tomb of an elite lady in Xi'an, China. *Antiquity* 94, 455–472. <https://doi.org/10.15184/aqy.2020.6>

Kling-Eveillard, F., Allain, C., Boivin, X., Courboulay, V., Créach, P., Philibert, A., Ramonet, Y., Hostiou, N., 2020. Farmers' representations of the effects of precision livestock farming on human-animal relationships. *Livest. Sci.* 238, 104057. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104057>

Liniger, H.P., R. Mekdaschi Studer, C. Hauert and M. Gurtner. 2011. La pratique de la gestion durable des terres. Directives et bonnes pratiques en Afrique subsaharienne. TerrAfrica, Panorama mondial des approches et technologies de conservation (WOCAT) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)

Luna, D., Tadich, T.A., 2019. Why should human-animal interactions be included in research of working equids' welfare? *Animals* 9, 1–16. <https://doi.org/10.3390/ani9020042>

Makki, E.K., 2014. Husbandry, working practices and field performance when using draught oxen in land preparation in Shambat, Nile Valley, Sudan. *Trop. Anim. Health Prod.* 46, 145–151. <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0465-5>

Makki, E.K., Musa, E.O.M., 2011. A survey on draught animal technology (DAT) in EN-Nhoud area, North Kordofan State,

- Sudan. Trop. Anim. Health Prod. 43, 923–928.
<https://doi.org/10.1007/s11250-011-9784-6>
- Mingala, C.N., Villanueva, M., 2017. River and Swamp Buffaloes: History, Distribution and their Characteristics, in: Presicce, G.A. (Ed.), The Buffalo (*Bubalus bubalis*) Production and Research. Bentham Science Publishers, Rome, Italy, pp. 3–31.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Minka, N.S., Ayo, J.O., 2007. Effects of loading behaviour and road transport stress on traumatic injuries in cattle transported by road during the hot-dry season. Livest. Sci. 107, 91–95.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.10.013>
- Mota-Rojas, D., Velarde, A., Maris-Huertas, S., Cajiao, M.N., 2016. Animal welfare, a global vision in Ibero-America. [Bienestar Animal una visión global en Iberoamérica]. Barcelona, Spain: Elsevier; 2016. p. 516.
- Mota-Rojas D, Orihuela A, Strappini-Asteggiano A, et al. 2018. Teaching animal welfare in veterinary schools in Latin America. Int. J. Vet. Sci. Med. 6,131–140.
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., & Guerrero-Legarreta, I. Napolitano F. (2019a). Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and

Natural Resources, 14(035).
<https://doi.org/10.1079/PAVSNR201914035>

Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Bertoni, A. Molina S., José, N., López, G., Mora, P., Guerrero, I., & Napolitano, F. (2019b). Capítulo 8. La importancia de los animales en labores rurales: tracción, transporte y carga. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). *El búfalo de agua en las Américas* (2da. Eds.). México. BM Editores.

Mota-Rojas, D., Broom, D.M., Orihuela, A., Velarde, A., Napolitano, N., Alonso-Spilsbury, M., 2020. Effects of human-animal relationship on animal productivity and welfare. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 8:196-205. doi.org/10.31893/jabb.20026

Myers, O.E., Saunders, C.D., Garrett, E., 2003. What do children think animals need? Aesthetic and psycho-social conceptions. *Environ. Educ. Res.* 9,305-325. doi:10.1080/13504620303461.

Nanda, A.S., Nakao, T., 2003. Role of buffalo in the socioeconomic development of rural Asia: Current status and future prospectus. *Anim. Sci. J.* 74, 443–455. <https://doi.org/10.1046/j.1344-3941.2003.00138.x>

Pal, A. and Chatterjee, P.N., 2013. Field level study on the buffalo bullock: an excellent draught animal. *Buffalo Bulletin* (September) Vol.32 No.3

- Pritchard, J.C., Lindberg, A.C., Main, D.C.J., Whay, H.R., 2005. Assessment of the welfare of working horses, mules and donkeys, using health and behaviour parameters. *Prev. Vet. Med.* 69, 265–283. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2005.02.002>
- Rahman, M.S., Monayem Miah, M.A., Moniruzzaman, Hossain, S., 2011. Impact of farm mechanization on labour use for wheat cultivation in northern Bangladesh. *J. Anim. Plant Sci.* 21, 589–594.
- Ramaswamy, N.S., 1998. Draught animal welfare. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 59, 73–84. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(98\)00122-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(98)00122-1)
- Rossel, S., Marshall, F., Peters, J., Pilgram, T., Adams, M.D., O'Connor, D., 2008. Domestication of the donkey: Timing, processes, and indicators. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 105, 3715–3720. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709692105>
- Swann, W.J., 2006. Improving the welfare of working equine animals in developing countries. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 100, 148–151. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.04.001>
- Tadich, T., de Aluja A., Casigas, R., Huerta LA., Galindo F., 2016. Los niños reconocen las necesidades de los burros de trabajo, en Tulimán, México: Observaciones preliminares. *Vet. Mex.* 3, 1-7.

- Warriach, H.M., McGill, D.M., Bush, R.D., Wynn, P.C., Chohan, K.R., 2015. A review of recent developments in buffalo reproduction - A review. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 28, 451–455. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0259>
- Zhou, X., Ma, W., Li, G., 2018. Draft animals, farm machines and sustainable agricultural production: Insight from China. *Sustain.* 10, 1–16. <https://doi.org/10.3390/su10093015>



SECCIÓN II



The rider. 50x50 cm, oil on canvas, 2016.

By Alex Cuibus

ASPECTOS REPRODUCTIVOS

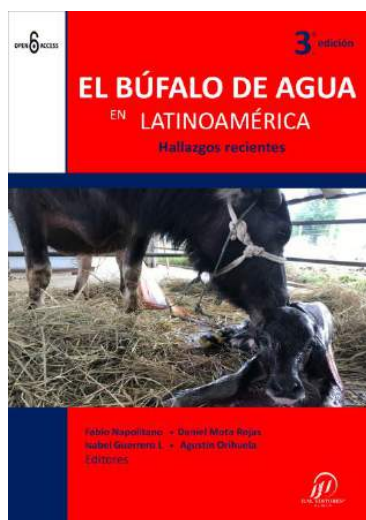
Perinatología, ginecobstetricia, impronta, destete
y ordeño



CAPÍTULO 10

FACTORES INTRÍNSECOS QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DE LA BÚFALA DE AGUA

Hector Nava-Trujillo, Robert Valeris-Chacin, Simón Zambrano-Salas, Adriana Morgado-Osorio, Javier Hernández, Janeth Caamaño y Armando Quintero-Moreno



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 10

Factores intrínsecos que afectan el desempeño reproductivo de la búfala de agua

Hector Nava-Trujillo¹, Robert Valeris-Chacin^{2,3}, Simón Zambrano-Salas⁴, Adriana Morgado-Osorio¹, Javier Hernández⁵, Janeth Caamaño¹ y Armando Quintero-Moreno⁶

¹ Producción Animal, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de los Andes, Mérida, Mérida, Venezuela.

² Department of Veterinary and Biomedical Sciences, College of Veterinary Medicine, University of Minnesota, Saint Paul, Minnesota, USA.

³ Departamento de Sanidad Animal y Salud Pública, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad del Zulia, Maracaibo, Zulia, Venezuela.

⁴ Departamento de Ciencias Agrarias, Núcleo Universitario Alberto Adriani (NUAA), Universidad de los Andes, El Vigía, Mérida, Venezuela.

⁵ Producción Vegetal, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de los Andes, Mérida, Mérida, Venezuela.

⁶ Laboratorio de Andrología, Unidad de Investigación en Producción Animal (UNIPA), Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad del Zulia, Maracaibo, Zulia, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

La ganadería bufalina ha tenido un crecimiento importante en los últimos años a nivel mundial, y muy especialmente en el continente americano, con Brasil y Venezuela a la cabeza en el número de ejemplares, sin embargo; este crecimiento debe verse acompañado por un incremento en el esfuerzo por conocer más a la especie e identificar los factores que pudiesen limitar su productividad. El éxito y la sostenibilidad del negocio ganadero depende en gran medida de la eficiencia reproductiva, y la ganadería bufalina no escapa de esta premisa. Tomando en cuenta la mayor duración de la gestación en comparación con el ganado vacuno, lograr un intervalo parto



concepción de unos 90 días a fin de alcanzar un intervalo entre partos (IEP) de unos 400 días, el cual ha sido postulado como el óptimo económico (Shah et al., 1991; Shah et al., 2007; Khan et al., 2008; Sweers et al., 2014) es una de las premisas a cumplir para maximizar la rentabilidad de los sistemas bufalinos. Intervalos mayores generan pérdidas económicas relacionadas con el aumento de los costos por alimentación, medicamentos, mano de obra, y una disminución de los ingresos por el aumento de los días no productivos, la disminución de la producción de leche, el retraso en el reemplazo de hembras, y la disminución en la venta de machos para carne o como reproductores, todo esto aunado al retraso en el progreso genético del rebaño. Algunos estudios indican pérdidas debido al anestro de 5.53 dólares por día por búfala (Kumar et al., 2013) y una disminución en el retorno económico entre 24 y 27% por el retraso en la concepción (Khan et al., 2008). Además, se ha reportado una disminución en la producción de leche de 2.1 kg/día cuando el intervalo entre partos pasó de 365 a 635 días (Shah et al., 1991) y un costo por cada día adicional de IEP luego de 365 días, de 6.07 dólares (Cicek et al., 2017), mientras que cada día adicional de IEP sobre el promedio del rebaño, disminuyó las ganancias en 1.87 dólares (Safari et al., 2019).

Este panorama obliga a adoptar un manejo integral en cada unidad de producción a fin de alcanzar la meta reproductiva de un intervalo parto concepción de 90 días en la mayoría de las búfalas, pero esto puede ser un desafío, dado que diversos factores afectan el desempeño reproductivo. En este capítulo revisaremos como los

factores intrínsecos afectan el desempeño reproductivo de las búfalas, aunque aclaramos que estos pueden actuar en forma concomitante con factores externos, aumentando el riesgo de fracaso reproductivo. Adicionalmente, plantearemos algunas alternativas que permitirán reducir el impacto negativo de los factores intrínsecos y aumentar la posibilidad de preñez a los 90 días postparto.

FACTORES INTRÍNSECOS QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DE LA BÚFALA DE AGUA

Genotipo

El genotipo tiene un efecto importante sobre el desempeño reproductivo de las búfalas, contribuyendo con un 77.61% en la variación total del IEP (Sanker et al., 2014), lo que coincide con Kumar et al. (2020), quienes sugieren que, aunque se necesita más investigación, los factores genéticos podrían afectar la variación del período de anestro postparto. Sanker et al. (2014), observaron que búfalas de raza Murrah tenían un IEP más corto (424.32 ± 2.60 días, $P < 0.05$) en comparación con las de raza Diara (464.21 ± 2.57) o las genéticamente no descritas (462.19 ± 2.55 días). Christa Charlini y Sinniah (2015), observaron diferencias significativas en el IEP entre búfalas Nili-Ravi y Surti. En Bután, búfalas mestizas Murrah alcanzaron el primer parto más jóvenes y tuvieron un primer IEP más corto que las búfalas locales de genotipo no descrito (Tismina et al., 2015), mientras que en Venezuela, no hubo efecto de la raza en el intervalo parto primer servicio; pero si en el intervalo parto concepción y en el

IEP, con las búfalas de genotipo indeterminado teniendo un mejor desempeño (102.68 ± 3.32 días y 427.18 ± 13.57 días, respectivamente) en comparación con las predominantemente Murrah (132.91 ± 2.35 días y 445.08 ± 8.09 días, respectivamente) o Mediterránea (137.72 ± 11.65 días y 452.01 ± 8.38 días, respectivamente) (Rojas, 2016). Recientemente, se ha observado que búfalas F1 Mediterránea x Egipcia o $\frac{3}{4}$ Egipcia $\frac{1}{4}$ Mediterránea, tuvieron una menor incidencia de partos con dificultad y necesitando asistencia veterinaria y menor incidencia de mortinatos en comparación con las Egipcia puras. Esto podría estar relacionado con el mayor peso al nacimiento de los terneros Egipcio-puros o la ausencia de selección genética para mejorar la facilidad de parto. Además, se observó que las búfalas Egipcia puras tenían menor fertilidad al primer servicio que las $\frac{3}{4}$ Egipcia $\frac{1}{4}$ Mediterránea (Nasr 2016). La raza afectó la edad al primer parto, siendo las búfalas de raza Mediterránea más jóvenes (37.81 ± 0.35 meses, $P < 0.5$) que las Murrah (39.16 ± 0.26 meses) o que las de genotipo indeterminado (40.35 ± 0.72 meses) (Rojas, 2016). La variación de la eficiencia reproductiva entre los diferentes genotipos podría deberse a las diferentes capacidades de adaptación a cada entorno y al diferente mérito genético para la producción de leche (Nasr, 2016; Nasr, 2017). Así búfalas F1 Mediterránea/Egipcia, que produjeron más leche a los 305 días que las $\frac{3}{4}$ Egipcia $\frac{1}{4}$ Mediterránea o las Egipcia puras, tuvieron un intervalo parto concepción más largo y más servicios por concepción (Nasr, 2016).

Algunos genes se han asociado con la eficiencia reproductiva de las búfalas. Los genotipos CC, AA y GG del gen CYP191A, que codifica la enzima citocromo P450 aromatasa, la cual regula la síntesis de estrógenos, y los alelos C, A y G, están asociados con un mayor riesgo de anestro (El-Bayomi et al., 2018). Además, los haplotipos que contienen dos o tres de estos alelos están relacionados con niveles bajos de estrógenos y de enzimas antioxidantes en sangre y con una baja expresión de los genes de la enzima CYP191A, del receptor alfa de estrógeno y de la glutatión peroxidasa 3 en el tejido ovárico (El-Bayomi et al., 2018). Además, el genotipo GG del gen de la leptina se asoció con un mayor número de servicios por concepción (3.67, $P = 0.03$) en comparación con los genotipos AA (2.19) y AG (2.65), y esto podría estar relacionado con el hecho de que las búfalas con el genotipo GG parieron terneros más pesados (Nasr y El Araby, 2016). Además, de Camargo et al. (2015), identificaron genes relacionados con la edad al primer parto, intervalo entre partos, servicios por concepción e intervalo parto concepción, mientras que Li et al. (2018), identificaron 25 genes asociados con el desarrollo folicular. Adicionalmente, Carcangiu et al. (2011), Luridiana et al. (2012) y Gunwant et al. (2018), encontraron que las búfalas con el genotipo TT en el gen para el receptor de melatonina 1A (MTNR1A), fueron capaces de aparearse y parir durante la época de fotoperiodo largo, siendo además este comportamiento repetitivo en los años siguientes (Carcangiu et al., 2011) y más recientemente se ha reportado que durante la época de baja actividad reproductiva, las novillas con el genotipo TT del gen

MTNR1A tuvieron una mayor tasa de concepción tanto a celo natural como sincronizado luego de recibir un tratamiento con melatonina en comparación con las novillas con los genotipos CT y CC (Pandey et al., 2019).

En todo rebaño los programa de mejora genética deben incluir el componente reproductivo, especialmente si el objetivo principal es aumentar la producción de leche. Si bien, el intervalo entre partos tiene una heredabilidad baja (Seno et al., 2010; Parmar et al., 2017; Shalaby et al., 2016) y no es un parámetro para considerar como criterio de selección; algunos autores sugieren que debería ser un criterio para incluir en los programas genéticos debido a su impacto en el desempeño económico de los sistemas de producción bufalinos (Sweers et al., 2014; Safari et al., 2019). Además, para la selección se podrían adoptar nuevos fenotipos para mejorar la fertilidad, algunos como la ciclicidad, la expresión del celo y la ausencia de ovulación silente han sido propuestos para mejorar la fertilidad en vacas lecheras (Lucy, 2019) y considerando que el anestro, la baja intensidad del celo y los celos silentes son un problema importante en las búfalas, la selección por estos fenotipos podría ser útil. En vacas lecheras con estacionalidad reproductiva, se observó que la selección para una gestación más corta aumentó las posibilidades de que las vacas parieran y entraran en celo más temprano en la temporada (Jenkins et al., 2016), y la heredabilidad de la duración de la gestación en vacas varía de 0.33 a 0.62 (Mujibi y Crews 2009; Norman et al., 2009) y dado que, en las búfalas la gestación es más larga que en las vacas lecheras,

se podría evaluar la selección por un valor genético negativo para la duración de la gestación. Recientemente, se observó una relación negativa entre la distancia anogenital y la eficiencia reproductiva en vacas lecheras (Gobikrushanth et al., 2017; Akbarinejad et al., 2019). Esto podría considerarse un nuevo fenotipo de selección genética para una mayor fertilidad, y en las vacas lecheras, la heredabilidad de la distancia anogenital fue de 0.37 ± 0.08 (Gobikrushanth et al., 2019). También, la selección de vacas lecheras para una condición corporal más alta mejoró la salud y la fertilidad (Dechow et al., 2002, Berry et al., 2003; Weigel et al., 2006), y las vacas lecheras con mérito genético positivo para la fertilidad tuvieron un mayor consumo de materia seca y mantuvieron una condición corporal más alta (Moore et al., 2014). Estos fenotipos se asocian a una mejor adaptación a la lactancia y su inclusión en el programa genético es importante, especialmente cuando el objetivo central es una mayor producción de leche. De manera similar, la identificación de hembras con el genotipo TT en el gen MTNR1A, permitiría la selección de búfalas con menor sensibilidad al fotoperiodo, y esto sería de gran interés para aquellos productores que deseen cambiar el calendario de partos de sus rebaños. Toda esta información reciente sobre fenotipos potenciales, además de la identificación de nuevos genes candidatos para mejorar el desempeño reproductivo, justifica más investigación en búfalas de agua.

Edad al primer parto

Lograr que las hembras alcancen su primer parto más jóvenes debe ser una prioridad dado que esto permite no solo reducir los costos relacionados con la alimentación, sino también aumentar los ingresos por producción de leche y terneros (Lin et al., 1988). La edad al primer parto tiene un impacto importante en la rentabilidad ya que los costos relacionados con la gestión de las hembras pueden llegar hasta el 20% de los costos totales de la explotación (Mourits et al., 1999). Hay poca información en la literatura científica acerca del efecto de la edad al primer parto sobre el desempeño reproductivo de las búfalas de agua. Zicarelli (2007), observó que las búfalas mayores al primer parto tenían un IEP más largo, mientras que Verma et al. (2018), observaron que las búfalas más jóvenes en el primer parto (34.65 meses) tenían un período de servicio 31.85 días más corto y 44.2 días menos en el IEP que las búfalas más viejas al primer parto (54.21 meses), aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Lograr que las hembras alcancen el primer parto a una menor edad depende de la selección genética y de una dieta que maximice la ganancia diaria de peso y por tanto disminuya la edad a la pubertad y permita alcanzar el peso de incorporación al programa reproductivo a una edad más temprana. Así en Italia, se ha observado que la edad al primer parto ha disminuido un mes cada cinco años, pasando desde 44.7 ± 6.6 meses en el año 1975 a 35.3 ± 6.46 meses en 2005 (Zicarelli 2007). Sabia et al. (2014), observaron una correlación negativa entre

la ganancia diaria de peso y la edad a la pubertad ($r = -0.299$, $P < 0.01$) y una correlación positiva con el peso a la pubertad ($r = 0.548$, $P < 0.01$). Por lo tanto, para reducir la edad al primer parto el manejo de la alimentación durante el desarrollo prepuberal es crítico, y lograr un aumento de peso apropiado es esencial para que la hembra alcance la pubertad y el primer parto más joven.

Recientemente, se ha observado que las búfalas alimentadas con leche *ad libitum* durante los primeros cuatro meses de edad tuvieron una menor edad al primer parto (20-26 meses); mientras que las que recibieron más leche reconstituida (150 kg vs. 105 kg) tuvieron el primer parto seis meses antes (28.5 vs. 34) (Zicarelli 2020). Las búfalas con una dieta formulada para ganar 450 gr/día alcanzaron la pubertad a los 24 meses, mientras que aquellas con una dieta formulada para ganar 650 gr/día alcanzaron la pubertad a los 21 meses ($P < 0.05$) (Terzano et al., 1993). Huseein y Abdel-Raheem (2013), reportaron que las novillas mantenidas con una dieta alta en energía (8,63 kg/materia seca/día, 19,2 Mcal EM/día, 1,15 kg PC/día) alcanzaban el primer servicio más jóvenes (30.8 ± 1.6 meses), más pesadas (340.1 ± 3.5 kg) y tuvieron mayor fertilidad (87.8%), que las mantenidas bajo una restricción dietética del 50% (35.3 ± 1.1 meses; 312.4 ± 4.2 kg y 10%, respectivamente). Adicionalmente, la incorporación de 100 gr/día de una mezcla mineral a la dieta de novillas en anestro (edad 42.05 ± 1.18 meses) durante cuatro semanas aumentó el porcentaje de novillas que presentaban comportamiento estral (65% vs. 33%)

(Bodla et al., 2017). El manejo de las novillas para reducir la edad al primer parto puede tener una connotación especial para los ganaderos que deseen cambiar el calendario de partos, dado que las novillas son menos sensibles al fotoperiodo prolongado y exhiben un comportamiento reproductivo menos estacional (Zicarelli 1994; Borghese et al., 1995; Ceron-Muñoz et al., 2017), ya que si se implementa un manejo nutricional adecuado, puede ser posible incorporar novillas para parir durante el inicio del fotoperiodo largo y aumentar la producción de leche durante esta temporada. Sin embargo, una vez paridas es necesario un manejo alimenticio y reproductivo excepcional para evitar un prolongado período de anestro postparto e infertilidad, dada su condición de primíparas.

Número de partos

El número de partos tiene un efecto determinante sobre la eficiencia reproductiva (Aziz et al., 2001; Sanker et al., 2014; Triruvankadan et al., 2014; Hassan et al., 2017; Kumar 2015; Parmar et al., 2017; El-Tarabany et al., 2018; Nava-Trujillo et al., 2018, Nava-Trujillo et al., 2019ab; Kumar et al., 2020; Nava-Trujillo et al., 2020). Sosa et al. (2016), reportaron que la incidencia de anestro fue mayor en búfalas de agua de primer parto (21.59%) en comparación con las de dos (11.63%) y las de tres o más partos (9.97%) y esto implica un alargamiento de los intervalos parto primer celo y parto concepción. Estos resultados coinciden con los observados en Venezuela, donde las primíparas tuvieron un intervalo parto primera monta 30 días más

largo que las multíparas, y también tuvieron menos probabilidad de ser montadas por primera vez en los primeros 60 y 100 días postparto (Nava-Trujillo et al., 2019b). Las búfalas primíparas tuvieron una tasa de preñez más baja que las multíparas (El-Tarabany 2018) y una mayor incidencia de mortinatos (Nasr, 2017). Todo esto concuerda con el IEP más largo reportado para las primíparas, las cuales tuvieron entre 43 y 79 (Nava-Trujillo et al., 2018) y 35.3 y 55.5 días más (Nava-Trujillo et al., 2020) de IEP que aquellas con dos y tres o más partos, respectivamente ($P < 0.05$). El alargamiento del IEP en primíparas podría ser consecuencia de un período más largo de anestro, un mayor número de días abiertos y más servicios por concepción (Jamuna et al., 2016; Jakhar et al., 2017) y esto podría estar relacionado con el nivel de producción de leche (Nava-Trujillo et al., 2020), y probablemente con el hecho de que las búfalas primíparas tienen un balance energético negativo más alto y niveles más altos de estrés, lo que puede afectar el inicio de la actividad reproductiva postparto, sin descartar un manejo inadecuado (Zicarelli 1997; Vecchio et al., 2007; Bolívar Vergara et al., 2010).

Otro aspecto importante, es el efecto del número de partos sobre la respuesta a tratamientos hormonales para la sincronización de la ovulación. Así búfalas primíparas tratadas con el protocolo Ovsynch tuvieron una tasa de preñez más baja (30.8%) que las multíparas (61.7, $P < 0.05$) (Araujo Berber et al., 2002), y estos resultados coinciden con los de Baruselli et al. (2003), quienes reportaron que las búfalas primíparas tuvieron una tasa de preñez 15.5 puntos porcentuales más

baja que las multíparas ($P < 0.05$) y más recientemente y también en hembras tratadas con el protocolo Ovsynch se reportó que las búfalas primíparas tuvieron menor tasa de ovulación (33.3% vs 83.3%) y de concepción (14.3% y 42.8% respectivamente) que las búfalas multíparas (Hoque et al., 2014).

Para disminuir el impacto negativo del primer parto sobre la eficiencia reproductiva esta la necesidad de mejorar el consumo de materia seca y energía en este grupo de búfalas a fin de disminuir el balance energético negativo, especialmente si además son de alta producción. Así, Vecchio et al. (2007), reportaron que el incremento de la densidad energética de la dieta al aumentar la proporción de concentrados mejoró la fertilidad de las primíparas, lo que no fue observado en búfalas multíparas. Más recientemente la suplementación de primíparas con propilenglicol o propionato de calcio durante el período pre y postparto redujo el balance energético negativo y acortó el intervalo al primer celo (53.50 ± 3.69 y 48.50 ± 2.79 días respectivamente) y la concepción (63.33 ± 6.66 y 52.17 ± 2.70 días respectivamente) en comparación con las controles (82.33 ± 6.70 y 128.50 ± 15.9 días respectivamente) (Abdel-Latif et al., 2016). Adicionalmente, un manejo diferencial de este grupo de búfalas que evite la competencia especialmente en los momentos de alimentación con búfalas más dominantes podría disminuir la intensidad del balance energético negativo y la duración del periodo de anestro postparto. Además, no podemos descartar el uso de tratamientos hormonales

para sincronizar la ovulación y la inseminación artificial a tiempo fijo, especialmente los basados en la administración intravaginal de progesterona, cuyos resultados no se ven afectados por el número de partos (Monteiro et al., 2018).

Producción de leche y el consecuente balance energético

El-Fadaly (1980) y El-Azab et al. (1984), observaron que las búfalas con una producción mayor a 8 kg de leche por día tuvieron un período de anestro postparto más largo que las que produjeron menos de 8 kg por día (107 ± 36 días y 76 ± 25 días vs 77 ± 30 días y 56 ± 24 días, respectivamente). Más recientemente, Qureshi y Ahmad (2008), reportaron una correlación positiva entre la producción de leche y el intervalo parto ovulación ($r = 0.31$, $P < 0.01$) y que, aunque las búfalas con mayor rendimiento alcanzaron una tasa de concepción más alta en el primer servicio, necesitaron más días para la involución uterina y para la primera ovulación postparto. El-Tarabany (2018), observó que las búfalas con una producción diaria superior a 9 kg de leche tuvieron una probabilidad de preñez menor que las que produjeron menos de 7 kg al día y esto coincide con Valsalan et al. (2014) quienes reportaron una disminución de 0.9% en la preñez por cada aumento de 100 kg de leche a los 305 días; mientras que Seno et al. (2010), observaron una correlación positiva entre la producción de leche y la duración del primer IEP, lo que coincide con lo reportado por Nava-Trujillo et al. (2018) y Nava-Trujillo et al. (2020). De Camargo et al. (2015), reportan una correlación genética y fenotípica positiva entre producción de

leche, kg de grasa, kg de proteína; % de grasa, % de proteína y el número de células somáticas con la edad al primer parto, con los servicios por concepción, con el intervalo parto concepción y con el IEP y de manera similar Vilela et al. (2020), reportaron una correlación positiva entre la producción de leche y la edad al primer parto y el IEP. Todos estos resultados, destacan la importancia del diseño adecuado de los programas de mejora genética para aumentar la producción de leche en búfalas y evitar las consecuencias negativas sobre la eficiencia reproductiva (Rossi et al., 2014; Nascimento et al., 2021).

Después del parto, las búfalas entran en un período de balance energético negativo caracterizado por una disminución en el consumo de materia seca y la disminución correspondiente del peso y la condición corporal, así como también una caída de los niveles de glucosa e insulina, y un aumento de los ácidos grasos no esterificados (NEFAs) y de beta-hidroxibutirato (BHB) (Campanile, 1997; Fiore et al., 2018). Deka et al. (2014), observaron una pérdida en el consumo de materia seca del 22.7% al día del parto con respecto al consumo preparto (9.91 kg vs 12.83 kg, $P < 0,001$). Infascelli et al. (2003), reportaron que el porcentaje de pérdida de peso durante los primeros 60 días postparto estuvo relacionado con el número de partos, siendo mayor en las multíparas (3.8% vs 1.55%), mientras que Abayawansa et al. (2012), observaron una pérdida de peso durante las primeras nueve semanas postparto de 14.7 y 14.5% en búfalas paridas en invierno y verano, respectivamente. Recientemente Reddy et al. (2017),

encontraron una disminución del peso postparto de 11.85%; tanto en búfalas primíparas como multíparas con una producción >5000 kg, la pérdida de peso corporal fue mayor (-4.2 ± 4.6 y $-5.6 \pm 5.1\%$ respectivamente) que en las que produjeron menos de 5000 kg ($+3.06 \pm 7.6\%$ y $-2.0 \pm 4.0\%$ respectivamente) (Campanile et al., 2001).

La pérdida de peso y condición corporal como resultado de la disminución de la ingesta de materia seca y el aumento del gasto energético por la síntesis de leche, resulta en la movilización de las reservas de grasa acumuladas durante el período seco, con el correspondiente aumento de NEFAs y BHB (Deka et al., 2014; Reddy et al., 2017; Jalali et al., 2011; Golla et al., 2019) y las búfalas que no tienen una adaptación exitosa a estos ajustes metabólicos, puede sufrir una disminución del desempeño reproductivo. Las búfalas muy delgadas al parto tuvieron un intervalo a la concepción más largo (165.5 días) que aquellas con una corporal intermedia (128.3 días) o las sobrecondicionadas (144.1 días) (Bhalaru et al., 1987) y esto ha sido corroborado recientemente (Patel et al., 2018). Las búfalas con inactividad ovárica tuvieron una condición corporal más baja que aquellas con ovarios activos (2.08 ± 0.11 vs 2.88 ± 0.28) (Othoman et al., 2014); y esto coincide con Gamit et al. (2016), quienes observaron que una condición corporal más alta durante los primeros 90 días postparto se relacionó con un intervalo al primer celo más corto. Además, una condición corporal más alta al momento de la inseminación se relacionó con un folículo ovulatorio más grande,

menores niveles de progesterona al celo y una mayor intensidad de este (Raj et al., 2016). Las búfalas con un condición corporal <2.5 sometidas a inseminación a tiempo fijo tuvieron una tasa de preñez más baja en comparación con aquellas con una condición corporal >2.5 (Devkota, 2013). Las búfalas que perdieron más del 10% de su peso inmediatamente después del parto, necesitaron más servicios por concepción (3.38 ± 0.7) y tuvieron un intervalo a la concepción más largo (297 ± 32.54 días) que las que perdieron menos del 10% de su peso (2.40 ± 0.81 servicios y 207.6 ± 46.46 días, respectivamente) (Mavi et al., 2011). Huseein et al. (2013), observaron que las búfalas que se preñaron en los primeros 75 días postparto tuvieron mayor peso y condición corporal durante ese período que las que no se preñaron, y también tuvieron un intervalo al primer servicio más corto (65.71 ± 11.31 vs 93.20 ± 9.81 , $P = 0.03$). Más recientemente, Elsayed et al. (2019), reportaron que las búfalas con un retraso en la actividad ovárica postparto (>45 días postparto) y, en consecuencia, con un intervalo a la concepción más largo (170.50 ± 16.20), tuvieron una condición corporal más baja y niveles más bajos de IGF-I, glucosa, albúmina, SOD y GSH, así como niveles más altos de NEFA y BHB durante el postparto que aquellas con un reinicio temprano de la actividad ovárica (<45 días postparto) y en consecuencia un intervalo a la concepción más corto (121.60 ± 15.00). Además, los niveles de NEFA y BHB se correlacionaron positivamente con el intervalo a la primera ovulación postparto, mientras que la condición corporal y los niveles de IGF-I, albúmina, SOD y GSH se correlacionaron negativamente

(Elsayed et al., 2019). Altos niveles de NEFAs y BHB, así como bajos de glucosa y calcio, son un factor de riesgo para la ocurrencia de metritis, endometritis y mastitis (Mili et al., 2016).

Para reducir el impacto del balance energético negativo, es necesario mejorar la ingesta de materia seca y energía postparto a fin de reducir la pérdida de peso y condición corporal. Es necesario un programa de agronomía de los pastos que garantice la oferta forrajera y el manejo adecuado del pastoreo, ya que una alta densidad de animales por hectárea puede comprometer la tasa de preñez (Baruselli, 1993). La inclusión de *S. cerevisiae* en la dieta puede disminuir la movilización de grasas (Hansen et al., 2017) y reducir el intervalo al primer celo, mejorar la fertilidad y acortar el intervalo parto concepción (Ahmad et al., 2019). El aumento de la densidad energética en la dieta con grasas protegidas redujo el intervalo parto concepción (Zicarelli, 1997), mientras que la suplementación con linaza redujo la secreción de PGF2 α , aumentó el nivel de progesterona y mejoró la tasa de preñez al celo sincronizado (Nazir et al., 2013). La suplementación con grasas sobrepasante más minerales desde seis semanas preparto hasta el día 60 postparto, acortó el intervalo al primer celo (79.05 ± 3.82 vs 100.55 ± 3.47 días, $P < 0.05$) y a la concepción (107.10 ± 4.43 vs 133.65 ± 6.04 días, $P < 0.05$) y aumentó la tasa de preñez a los 120 días postparto (85% vs 50%) (Vala et al., 2019). También se ha reportado que el acortamiento del período seco a < 60 días aumentó la capacidad de adaptación de las búfalas a los ajustes metabólicos y hormonales

postparto, disminuyendo el balance energético negativo, esto es una menor pérdida de peso y condición corporal y niveles más bajos de NEFAs y más altos de glucosa, lo que generó una disminución del intervalo parto concepción (Reddy et al., 2018a,b).

Comportamiento estral

Las búfalas de agua tienen signos de celo de baja intensidad y una alta incidencia de ellos son de tipo silente y ocurren durante la noche (Qureshi et al., 2008; Banu et al., 2012; Vale y Ribeiro, 2005; Rahman et al., 2012), esto hace que la monta del toro sea el mejor indicador del celo (Barile, 2005). La tasa de celos silentes varía entre 10 y el 63% (Zicarelli et al., 1997c; Lohan et al., 2004; Awasthi et al., 2006; Qureshi et al., 2008; Jha, 2011; Porto-Filho et al., 2014). Estas particularidades de la especie afectan el desempeño reproductivo al dificultar la detección de hembras en celo, la realización de la inseminación en el momento correcto y la fertilidad. Banu et al. (2012), observaron una baja tasa de detección de celos (28%) y un mayor número de celos perdidos durante los primeros 70 días postparto, alargándose el intervalo parto primer celo. Hiremath y Ramesha (2015), reportaron que las búfalas con signos intensos de celo tuvieron una mayor tasa de concepción (81.16%) en comparación con aquellas con signos intermedios (60.47%) o débiles (44.11%); y la intensidad de los celos es determinante para que este sea detectado y la inseminación se lleve a cabo en el momento adecuado, 24 horas luego del inicio o una vez finalizado el celo, a fin de maximizar la fertilidad. Srivastava et al.

(1998), reportaron que las búfalas inseminadas entre 19 y 22 horas y entre 23 y 26 horas luego del iniciado el celo, alcanzaron una tasa de concepción del 40% y 50% respectivamente, siendo superior a la obtenida en las búfalas inseminadas entre 0 y 18 horas (15.23%) y entre 27 y 42 horas después de iniciado el celo (13.64%), y esto coincide con los resultados de Riaz et al. (2018), que encontraron que la inseminación artificial precoz (entre 0 y 12 horas) o tardía (36 horas) con respecto al inicio del celo, redujo la tasa de preñez en comparación con la inseminación realizada 24 horas después del inicio del celo (26%, 37%, 13% y 53%, respectivamente; $P < 0.05$). Así pues, mejorar la detección del celo y realizar la inseminación en el momento adecuado es una obligación y para esto es necesario aumentar el tiempo de observación de las búfalas, especialmente durante las horas más fresca (Banu et al., 2012; Das y Khan, 2010; Rao et al., 2013). Un mayor tiempo de observación para la detección de celos ha sido asociado con una mayor tasa de preñez en búfalas inseminadas (Cruda y Lañada 2006), además, la incorporación de toros vasectomizados o receladores y el uso de diferentes dispositivos para la detección del estro, podrían ser útiles para mejorar la detección de hembras en celo y su inseminación (Zicarelli et al., 1997, Barile, 2012). Sin embargo, si una baja detección de celos persiste en la finca, es necesario incorporar tecnologías como la sincronización de la ovulación, que permite inseminar a tiempo fijo sin la necesidad de detectar celos.

Estructuras ováricas, perfiles hormonales y fertilidad

El diámetro del folículo preovulatorio y los niveles de estradiol, así como el diámetro del cuerpo lúteo y los niveles de progesterona, están relacionados con la fertilidad en búfalas. Pandey et al. (2011 y 2018), reportaron que las búfalas preñadas al día 40, tuvieron un folículo preovulatorio de mayor diámetro y niveles más altos de estradiol durante el celo que las búfalas no preñadas. Además, la tasa de concepción fue mayor en búfalas con folículos preovulatorios más grandes (Riaz et al., 2018), y esto podría explicarse por la relación positiva entre el diámetro del folículo preovulatorio, el diámetro del cuerpo lúteo y los niveles de progesterona (Pandey et al., 2011; 2018). Mansour et al. (2016), observaron correlaciones positivas entre la tasa de preñez y el diámetro del cuerpo lúteo y las concentraciones de progesterona a los 2, 9, 12, 16, 21 y 25 días postinseminación, y más recientemente se ha reportado que las búfalas con un cuerpo lúteo mayor a 14.5 mm de diámetro el día de la transferencia embrionaria tuvieron mayor tasa de preñez a los 30 y 60 días (47.4% y 45.3%) y de parto (37.9%) que las búfalas con un cuerpo lúteo menor a 14.5 mm de diámetro (32.5%, 27.7% y 21.7% respectivamente; $P < 0.05$) (Saliba et al., 2020).

Las búfalas preñadas tuvieron niveles de progesterona más altos al día 5 (Pandey et al., 2011, 2018), 10 (Balestrieri et al., 2013; Salzano et al., 2017), 12, 16 o 21 (Pandey et al., 2011; 2018) después del servicio en comparación con las no gestantes; y esto resalta la importancia de un

aumento temprano de los niveles de progesterona para el desarrollo del embrión y el establecimiento de la preñez, y esto parece estar relacionado con el diámetro del folículo preovulatorio. Las búfalas preñadas cuyos folículos ovulatorios fueron menores de 12 mm tuvieron un cuerpo lúteo más pequeño y produjeron menos progesterona a los 5, 12 y 16 días después de la ovulación en comparación con las búfalas preñadas con folículos preovulatorios entre 12 y 14 mm o 14 y 16 mm (Pandey et al., 2018). La importancia de la progesterona en el establecimiento y mantenimiento de la preñez se hace más evidente durante la época de fotoperiodo largo, cuando la incidencia de muerte embrionaria es mayor. En búfalas de raza Mediterránea inseminadas durante la época de fotoperiodo largo, las búfalas que permanecieron preñadas tuvieron concentraciones de progesterona más altas entre los días 10 y 20 en comparación con las búfalas con mortalidad embrionaria al día 40 después del servicio (Campanile et al., 2005). Niveles bajos de progesterona retrasan el crecimiento de los embriones, y los embriones más pequeños tienen más probabilidades de morir. Así, búfalas que en el día 25 tenían un embrión con un ancho <2.7 mm tuvieron niveles de progesterona más bajos al día 20 en comparación con las búfalas con embriones con un ancho >2.7 mm (Balestrieri et al., 2013).

Por ello surge la siguiente pregunta, ¿Qué podemos hacer para maximizar la fertilidad?. En primer lugar, podemos recomendar tratar de aprovechar la estacionalidad, las búfalas son más fértiles en los

meses de fotoperiodo corto, sin embargo, este aspecto lo trataremos en el capítulo 11, referente a factores extrínsecos que afectan el desempeño reproductivo de la búfala de agua.

Una posible estrategia que puede tener un impacto positivo en la fertilidad, es la selección de las búfalas a inseminar de acuerdo con el tamaño del folículo dominante al momento de la inseminación. Rahman et al. (2012), reportaron que las búfalas preñadas tuvieron un folículo más grande al día del celo que las no preñadas (13.7 ± 0.31 vs 11.2 ± 0.53 mm respectivamente, $P < 0.05$), y que la tasa de concepción fue mayor en las búfalas con folículos entre 12 y 14 mm (70%) y 14 y 16 mm (85.7%) en comparación con las búfalas que tenían un folículo con un diámetro entre 9 y 12 mm (9.1%). En Italia, se seleccionan búfalas al momento de la inseminación según el diámetro del folículo dominante, inseminándose solo aquellas que tienen un folículo ≥ 1 cm de diámetro, las cuales se consideran son las que respondieron satisfactoriamente al protocolo de sincronización (Neglia et al., 2003; Campanile et al., 2005; Vecchio et al., 2010; Rossi et al., 2014; Neglia et al., 2018). La administración de GnRH (20 μ g de buserelina) o hCG (3000 UI) el día de la inseminación mejoró la fertilidad en comparación con las búfalas no tratadas (51.3% y 66.7% vs 30.8% respectivamente) (Pandey et al., 2016). Mientras que la administración por vía intramuscular o intravenosa de PGF $_{2\alpha}$ (0.524 mg de cloprostenol) al momento de la inseminación, resultó en un aumento del tamaño del cuerpo lúteo y de los niveles de progesterona, así como también en un aumento de la preñez (46.7% vs. 30.7%; $P < 0.01$) (Neglia et al., 2008).

Adicionalmente, la administración de GnRH (12 µg de buserelina), hCG (1500 UI) o progesterona (341 mg cada tres días cuatro veces) al día 25 postinseminación disminuyó la muerte embrionaria con respecto al control (15.4%, 13.7% y 14.9% vs 38.9%, $P < 0.01$) (Vecchio et al., 2010); y más recientemente se ha demostrado que el tratamiento con GnRH (20 µg) o con hCG (3000 UI) a los 5 (Pandey et al., 2015) o 12 (Pandey et al., 2013) días postovulación, promovió la formación de cuerpos lúteos accesorios, aumentando los niveles de progesterona y mejorando la fertilidad.

CONSIDERACIONES FINALES

Una buena eficiencia reproductiva es uno de los pilares fundamentales para maximizar la rentabilidad de los sistemas bufalinos y si bien la especie tiene un gran potencial productivo especialmente en zonas tropicales donde la cría de algunas razas de ganado vacuno puede tener limitaciones, esta no deja de ser susceptible a diversos factores, especialmente cuando se llevan a cabo programas de mejora genética para aumentar la producción de leche. El reconocimiento y control de estos factores es crucial para aumentar la eficiencia reproductiva y como se describió en este capítulo, los factores intrínsecos, muchas veces poco estudiados o atendidos por los productores, tienen un impacto determinante, pues pueden por una parte afectar al rebaño completo y por la otra actuar de forma concomitante y exacerbar el efecto negativo de otros factores. De modo que el diseño adecuado de los programas de mejora genética, los cuales deben incluir parámetros

reproductivos y metabólicos, y el manejo nutricional adecuado según el número de partos, época del año y el nivel de producción deben ser dos de los aspectos principales en los que la gerencia debe hacer énfasis para minimizar el efecto negativo de estos factores y alcanzar la meta reproductiva de un intervalo parto concepción de 90 días en la mayoría de las búfalas.

REFERENCIAS

- Abayawansa, W.D., Prabhakar, S., Singh, A.K., Brar, P.S., 2012. Bodyweight changes in winter and summer calving buffalo during peripartum period. *Indian J. Anim. Reprod.* 33(2), 47-50.
- Abdel-Latif, M.A., El-Gohary, E.S., Gabr, A.A., El-Hawary, A.F., Ahmed, S.A., Ebrahim, S.A., Fathala, M.M., 2016. Impact of supplementing propylene glycol and calcium propionate to primiparous buffalo cows during the late gestation and early lactation period on reproductive performance and metabolic parameters. *Alex. J. Vet. Sci.* 51(1), 114-121. DOI: 10.5455/ajvs.240341
- Akbarinejad, V., Gharagozlou, F., Voigani, M., Shourabi, E., Makiabadi, M.J.M. 2019. Inferior fertility and higher concentration of anti-Müllerian hormone (AMH) in dairy cows with longer anogenital distance (AGD). *Dom. Animal. Endocrinol.* 68, 47-53. doi: <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2019.01.011>

- Ahmad Para, I., Ahmad Shah, M., Punetha, M., Hussain Dar, A., Rautela, A., Gupta, D., Singh, M., Ahmad Naik, M., Rayees, M., Sikander Dar, P., Ahmad Malla, B., 2019. Feed fortification of periparturient Murrah buffaloes with dietary yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) elevates metabolic and fertility indices under field conditions. *Biol. Rhythm. Res.* doi.org/10.1080/09291016.2018.1557834.
- Awasthi, M.K., Kavani, F.S., Siddiquee, G.M., Sarvaiya, N.P., Derashri, H.J., 2006. Is slow follicular growth the cause of silent estrus in water buffaloes?. *Anim. Reprod. Sci.* 99(3-4), 258-68. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2006.05.014>
- Aziz, M.A., Schoeman, S.J., Jordaan, G.F., El-Chafie, O.M., Mahdy, A.T., 2001. Genetic and phenotypic variation of some reproductive traits in Egyptian buffalo. *South African J. Anim. Sci.* 31(3), 195-199.
- Balestrieri, M.L., Gasparrini, B., Neglia, G., Vecchio, D., Strazzullo, M., Giovane, A., Servillo, L., Zicarelli, L., D'Occhio, M.J., Campanile, G., 2013. Proteomic profiles of the embryonic chorioamnion and uterine caruncles in buffaloes (*Bubalus bubalis*) with normal and retarded embryonic development. *Biol. Reprod.* 88(5), 119. doi: 10.1095/biolreprod.113.108696.
- Banu, T.A., Shamsuddin, M., Bhattacharjee, J., Islam, M.F., Khan, S.I., Ahmed, J.U., 2012. Milk progesterone enzyme-linked immunosorbent assay as a tool to investigate ovarian cyclicity of water buffaloes in relation to body condition score and

milk production. *Acta Vet. Scand.* 54, 30. doi: 10.1186/1751-0147-54-30. DOI: 10.1186/1751-0147-54-30

Barile, V.L., 2005. Improving reproductive efficiency in female buffaloes. *Livest. Prod. Sci.* 92, 183-194.
<https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.06.014>

Barile, V.L., 2012. Technologies related with the artificial insemination in buffalo. *J. Buffalo Sci.* 1, 139-146.

Baruselli, P.S., 1993. Manejo reproductivo de bubalinos. *Inst. Zoot. Estacao Experimental de Zootecnia do Vale do Ribeira, Registro SP., Brazil.*

Berry, D.P., Buckley, F., Dillon, P., Evans, R.D., Rath, M., Veerkamp, R.F., 2003. Genetic parameters for body condition score, body weight, milk yield, and fertility estimated using random regression models. *J. Dairy Sci.* 86, 3704-3717.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73976-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73976-9)

Bhalaru, S., Tiwana, M.S., Singh, N., 1987. Effect of body condition at calving, on subsequent reproductive performance in buffaloes. *Indian J. Anim. Sci.* 57, 33-36.

Bodla, M.T., Anwar, M., Ahmad, E., Naseer, Z., Ahsan, U., 2017. Effect of two management systems and mineral feeding on age at puberty in Nili-Ravi buffalo heifers. *Buffalo Bulletin* 36(1), 27-33.

Bolívar Vergara, D.M., Ramírez Toro, E.J., Agudelo Gómez, D.A., Angulo Arroyave, R.A., Cerón Muñoz, M.F., 2010. Parámetros genéticos para características reproductivas en una población

- de búfalos (*Bubalus Bubalis Artiodactyla, Bovidae*) en el magdalena medio colombiano. Rev. Fac. Nac. Agron. 63, 5587-5594.
- Borghese, A., Barile, V.L., Terzano, G.M., Pilla, A.M., Parmeggiani, A., 1995. Melatonin trend during season in heifers and buffalo cows. *Bubalus Bubalis* 1, 61-65
- Campanile, G., 1997. Relationship between Nutrition and Reproduction in buffalo. "Third course on biotechnology of reproduction in buffaloes". *Bubalus bubalis* 4(Suppl 1), 217-235.
- Campanile, G., Di Palo, R., Zicarelli, L., 2001. Bilancio energetico e attività riproduttiva nella specie bufalina. Proc. I Congr. Naz. sull'All. del Bufalo, Eboli (SA); p. 114-127
- Campanile, G., Neglia, G., Gasparrini, B., Galiero, G., Prandi, A., Di Palo, R., Michael, J.D., Zicarelli, L., 2005. Embryonic mortality in buffaloes synchronized and mated by AI during the seasonal decline in reproductive function. *Theriogenology* 63(8), 2334-2340. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.10.012>
- Carcangiu, V., Mura, M.C., Pazzola, M., Vacca, G.M., Paludo, M., Marchi, B., Daga, C., Bua, S., Luridiana, S., 2011. Characterization of the Mediterranean Italian buffaloes melatonin receptor 1A (MTNR1A) gene and its association with reproductive seasonality. *Theriogenology* 76(3), 419-26.
- Cerón-Muñoz, M.F., Agudelo-Gómez, D.A., Ramírez-Arias, J.P., 2017. Estacionalidad de partos de búfalas en Colombia. *Livest. Res.*

Rural Dev. 29, Article 38.
<http://www.lrrd.org/lrrd29/2/cero29038.html>

Christa Charlini, B., Sinniah, J., 2017. Performance of Murrah, Surti, Nili-Ravi buffaloes and their crosses in the intermediate zone of Sri Lanka. *Livest. Res. Rural Dev.* 27, (47). from <http://www.lrrd.org/lrrd27/3/char27047.html>

Cicek, H., Tandoga, M., Uyarlar, C., 2017. Financial losses due to fertility problems in Anatolian dairy buffalo. *Indian J. Anim. Res.* 51(6), 1144-1148. **DOI:** [10.18805/ijar.10981](https://doi.org/10.18805/ijar.10981)

Cruda, M.L.C., Lañada, E.B., 2006. Factors associated with successful artificial insemination in water buffaloes in Bohol, Philippines. *Proceedings of the 11th International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics.*

Das, G.K., Khan, F.A., 2010. Summer anoestrus in buffalo—a review. *Reprod. Dom. Anim.* 45(6), e483-e494.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2010.01598.x>

De Araujo Berber, R.C., Madureira, E.H., Baruselli, P.S., 2002. Comparison of two Ovsynch protocols (GnRH vs LH) for fixed timed insemination in buffalo (*Bubalus bubalis*). *Theriogenology* 57, 1421-1430.

De Camargo, G.M., Aspilcueta-Borquis, R.R., Fortes, M.R., Porto-Neto, R., Cardoso, D.F., Santos, D.J., Lehnert, S.A., Reverter, A., Moore, S.S., Tonhati, H., 2015. Prospecting major genes in dairy buffaloes. *BMC Genomics* 16: 872. doi:10.1186/s12864-015-1986-2.

- Dechow, C.D., Rogers, G.W., Clay, J.S., 2002. Heritability and correlations among body condition score loss, body condition score, production and reproductive performance. *J. Dairy Sci.* 85, 3062-3070. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74393-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74393-2).
- Deka, R.S., Mani, V., Kumar, M., Shiwajirao, Z.S., Tyagy, A.K., Kaur, H., 2014. Body condition, energy balance and immune status of periparturient Murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*) supplemented with inorganic chromium. *Biol. Trace Elem. Res.* 161, 57-68. DOI: 10.1007/s12011-014-0069-6
- Devkota, B., Nakao, T., Kobayashi, K., Sato, H., Sah, S.K., Singh, D.K., Dhakal, I.P., Yamagishi, N., 2013. Effects of treatment for anestrus in water buffaloes with PGF2 α and GnRH in comparison with vitamin-mineral supplement, and some factors influencing treatment effects. *J. Vet. Med. Sci.* 75(12), 1623–1627. DOI: 10.1292/jvms.12-0515
- El-Azab, E.A., Mansour, H., Heshmat, H., Shawki, G., 1984. The postpartum period and future fertility of the Egyptian buffalo cows. In: *Proceedings of the 10th Int. Congr. Animal. Reprod. & A.I.*, vol. III, Urbana, p. 424
- El-Bayomi, K.M., Saleh, A.A., Awad, A., El-Tarabany, M.S., El-Qaliouby, H.S., Afifi, M., El-Komy, S., Essawi, W.M., Almadaly, E.A., El-Magd, M.A., 2018. Association of CYP19A1 gene polymorphisms with anoestrus in water buffaloes. *Reprod. Fertil. Dev.* 30(3), 487-497. doi: 10.1071/RD16528.

- El-Fadaly, M.A., 1980. Effect of suckling and milking on breeding efficiency of buffaloes. II. First postpartum estrus. Vet. Med. J. Egypt 28, 399-404.
- El-Tarabany, M.S., 2018. Survival analysis and seasonal patterns of pregnancy outcomes in Egyptian buffaloes. Livest. Sci. 213, 61-66 doi 10.1016/j.livsci.2018.05.008.
- Elsayed, D.H., Abdelrazek, H.M.A., El Nabtiti, A.A.S., Mahmoud, Y.K., Abd El-Hameed, N.E., 2019. Associations between metabolic profiles, post-partum delayed resumption of ovarian function and reproductive performance in Egyptian buffalo: Functions of IGF-1 and antioxidants. Anim. Reprod. Sci. 208, 106134 <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106134>.
- Fiore, E., Arfuso, F., Giancesella, M., Vecchio, D., Morgante, M., Mazzotta, E., Badon, T., Rossi, P., Bedin, S., Piccione, G., 2018. Metabolic and hormonal adaptation in Bubalus bubalis around calving and early lactation. PLoS One 13(4), e0193803. doi: 10.1371/journal.pone.0193803.
- Gamit, P.M., Singh, R.R., Kumar, A., Kharadi, V.B., Patel, N.B., 2016. Relationship of postpartum interval to estrus, body condition score, milk yield and blood biochemical parameters in Surti buffaloes (Bubalus bubalis). J. Applied Nat. Sci. 8(2), 899-904. <https://doi.org/10.31018/jans.v8i2.894>
- Gobikrushanth, M., Bruinjé, T.C., Colazo, M.G., Butler, S.T., Ambrose, D.J., 2017. Characterization of anogenital distance and its

- relationship to fertility in lactating Holstein cows. J. Dairy Sci. 100, 9815-9823
- Gobikrushanth, M., Purfield, D.C., Kenneally, J., Doyle, R.C., Holden, S.A., Martinez, P.M., Rojas Canadas, E., Bruinjé, T.C., Colazo, M.G., Ambrose, D.J., Butler, S.T., 2019. The relationship between anogenital distance and fertility, and genome-wide associations for anogenital distance in Irish Holstein-Friesian cows. J. Dairy Sci. 102, 1-10 <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15552>
- Golla, N., Chopra, A., Boya, S., Kumar, T.V.C., Onteru, S.K., Singh, D., 2019. High serum free fatty acids and low leptin levels: Plausible metabolic indicators of negative energy balance in early lactating Murrah buffaloes. J. Cell Physiol. 234(6), 7725-7733. DOI: 10.1002/jcp.28081.
- Gunwant, P., Pandey, A.K., Kumar, A., Singh, I., Kumar, S., Phogat, J.B., Kumar, V., Patil, C.S., Tomar, P., Kumar, S., Magotra A., 2018. Polymorphism of melatonin receptor (MTNR1A) gene and its association with seasonal reproduction in water buffalo (*Bubalus bubalis*). Anim. Reprod. Sci. 199, 51-59.
- Hansen, H.H., El-Bordeny, N.E., Ebeid, H.M., 2017. Response of primiparous and multiparous buffaloes to yeast culture supplementation during early and mid-lactation. Anim. Nutrition 3, 411-418.
- Hassan, F.A.M., Ali, M.A., El-Tarabany, M.S., 2017. Economic impacts of calving season and parity on reproduction and production

- traits of buffaloes in the sub-tropics. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 10258-10266 DOI 10.1007/s11356-017-8686-1.
- Hiremath, S., Ramesha, K.P., 2015. Controlled breeding and reproductive management in water buffaloes (*Bubalus bubalis*) using Eazi Breed controlled internal drug release. *J. S. Afr. Vet. Assoc.* 86(1), e1-e5. doi:10.4102/jsava.v86i1.1064
- Hoque, M.N., Talukder, A.K., Akter, M., Shamsuddin, M., 2014. Evaluation of ovsynch protocols for timed artificial insemination in water buffaloes in Bangladesh. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 38, 418–424.
- Huseein, H.A., Abdel-Raheem, S.M., 2013. Effect of feed intake restriction on reproductive performance and pregnancy rate in Egyptian buffalo heifers. *Trop. Anim. Health. Prod.* 45, 1001-1006. DOI: 10.1007/s11250-012-0324-9.
- Huseein, H.A., Senosy, W., Abdellah, M.R., 2013. Relationship among uterine involution, ovarian activity, blood metabolites and subsequent reproductive performance in Egyptian buffaloes. *Open J. Animal Sci.* 3(1), 59-69, DOI: 10.4236/ojas.2013.31009
- Infascelli, F., De Rosa, C., Amante, L., Zicarelli, F., Potena, A., Campanile, G., 2003. Productive level and energy balance in buffalo cow. *Italian J. Anim. Sci.* 2(Suppl. 1), 204-206.
- Jalali, M.T., Nouri, M., Rasooli, A., Haji Hajikolaie, M.R., Shahryari, A., Shirazi, M.R., 2011. Hepatic triacylglycerols and serum non-esterified fatty acids (NEFA) variations in indigenous water

- buffalo (*Bubalus bubalis*) in the province of Khuzestan, Iran
Int. J. Vet. Res. 5(3), 151-155.
- Jakhar, V., Yadav, A.S., Dahka, S.S., 2017. Analysis of different non genetic factors on production performance traits in Murrah buffaloes. Inter. J. Current Microbiol. Appl. Sci. 6(11), 4265-4272.
- Jamuna, V., Chakravarty, A.K., 2016. Evaluation of fertility in relation to milk production and productivity of Murrah buffaloes. Anim. Reprod. Sci. 171, 72-80.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.06.001>
- Jenkins, G.M., Amer, P., Stachowicz, K., Meier, S., 2016. Phenotypic associations between gestation length and production, fertility, survival, and calf traits. J. Dairy Sci. 99, 418-426.
<https://doi.org/10.3168/jds.2015-9934>
- Jha, S.S., 2011. Ovarian responses of buffalo treated with PGF2 alpha. Asian J. Biochem. Pharmaceutical Res. 4, 377-379.
- Khan, S., Qureshi, M.S., Ahmad, N., Amjed, M., Durrani, F.R., Younas, M., 2008. Effect of pregnancy on lactation milk value in dairy buffaloes. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 21, 523-531.
<https://doi.org/10.5713/ajas.2008.70349>
- Kumar, V., 2015. Factors affecting performance of Indian Murrah buffalo: A Review. J. Buffalo Sci. 4, 21-27.
- Kumar, P.R., Shukla, S.N., Shrivastava, O.P., Purkayastha, R.D., 2013. Incidence of postpartum anestrus among buffaloes in and

around Jabalpur. Veterinary World 6(9), 716-719. DOI: 10.14202/vetworld.2013.716-719

Kumar, T.V.C., Sharma, D., Naidu Surla, G., Veerapa Vedamurthy, G., Singh, D, Kumar Onteru, S., 2020. Body condition score, parity, shelter cleanliness and male proximity: highly associated non-genetic factors with post-partum anestrus in Murrah buffalo in field conditions. Anim. Reprod. Sci. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106282>.

Lin, C.Y., McAllister, A.J., Batra, T.R., Lee, A.J., Roy, G.L., Vesely, J.A., Wauthy, J.M., Winter, K.A., 1988. Effects of early and late breeding of heifers on multiple lactation performances of dairy cows. J. Dairy Sci. 71, 2735-2743. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79867-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79867-7)

Lohan, I.S., Malik, R.K., Kaker, M.L. 2004. Uterine involution and ovarian follicular growth during early postpartum period of Murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*). Asian-Aust. J. Anim. Sci. 17(3), 313-316.

Lucy, M.C., 2019. Symposium review: Selection for fertility in the modern dairy cow-Current status and future direction for genetic selection. J. Dairy Sci. 102(4), 3706-3721. doi: 10.3168/jds.2018-15544.

Luridiana, S., Mura, M.C., Pazzola, M., Paludo, M., Cosso, G., Dettori, M.L., Bua, S., Vacca, G.M., Carcangui, V., 2012. Association between melatonin receptor 1A (MTNR1A) gene polymorphism and the reproductive performance of

- Mediterranean Italian buffaloes. *Reprod Fertil Dev.* 24(7), 983-987.
- Mansour, M.M., Hendawy, A.O., Zeitoun, M.M., 2016. Effect of mastitis on luteal function and pregnancy rates in buffaloes. *Theriogenology* 86(5), 1189-94.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.009>
- Mavi, P.S., Bahga, C.S., Verma, H.K., Uppal, S.K., Sidhu, S.S., 2011. Postpartum performance as influenced by body weight changes at parturition in buffaloes. *Indian J. Anim. Reprod.* 32(1), 61-63.
- Mili, B., Pandita, S., Bharath Kumar, B.S., 2016. Association of blood metabolites with reproductive disorders in postpartum Murrah buffaloes. *Buffalo Bulletin* 35(4), 643-651.
- Monteiro, B.M., de Souza, D.C., de Carvalho, N.A.T., Baruselli, P.S. 2018. Effect of season on dairy buffalo reproductive performance when using P4/E2/eCG-based fixed-time artificial insemination management. *Theriogenology* 119, 275-281. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2018.07.004.
- Moore, S.G., Fair, T., Lonergan, P., Butler, S.T., 2014. Genetic merit for fertility traits in Holstein cows: IV. Transition period, uterine health, and resumption of cyclicity. *J. Dairy Sci.* 97, 2740-2752. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7278>
- Mourits, M.C.M., Huirne, R.B.M., Dijkhuizen, A.A., Kristensen, A.R., Galligan, D.T., 1999. Economic optimization of dairy heifers

management decisions. *Agricultural Syst.* 61, 17-31.
[https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(99\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(99)00029-3)

Mujibi, F.D.N., Crews, D.H., 2009. Genetic parameters for calving ease, gestation length, and birth weight in Charolais cattle. *J. Anim. Sci.* 87(9), 2759-2766. doi: 10.2527/jas.2008-1141

Nascimento, A.V., Cardoso, D.F., Santos, D.J.A., Romero, A.R.S., Scalez, D.C.B., Borquis, R.R.A., Neto, F.R.A., Gondro, C., Tonhati, H., 2021. Inbreeding coefficients and runs of homozygosity islands in Brazilian water buffalo *J. Dairy Sci.* 104(2): <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18397>.

Nasr, M.A.F., 2016. The impact of cross-breeding Egyptian and Italian buffalo on reproductive and productive performance under a subtropical environment. *Reprod. Dom. Anim.* 52(2), 1–7 DOI: 10.1111/rda.12881.

Nasr, M.A.F., 2017. The potential effect of temperature-humidity index on productive and reproductive performance of buffaloes with different genotypes under hot conditions. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 18073-18082 DOI 10.1007/s11356-017-9450-2

Nasr, M.A.F., El Araby, I.E., 2016. Associations of leptin and pituitary-specific transcription factor genes' polymorphisms with reproduction and production traits in dairy buffalo. *Reprod. Dom. Anim.* 51(4), doi: 10.1111/rda.12726

Nava-Trujillo, H., Escalona-Muñoz, J., Carrillo-Fernández, F., Parra-Olivero, A., 2018. Effect of parity on productive performance

and calving interval in water buffaloes. *J. Buffalo Sci.* 7, 13-16.

DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2018.07.01.3>

Nava-Trujillo, H., Valeris-Chacin, R., Hernández, J., Duran Nuñez, M., Morgado-Osorio, A., Caamaño, J., Quintero-Moreno, A., 2019a. Effect of season and parity on water buffalo calving distribution throughout the year in Venezuela. *Rev. Acad. Ciênc. Anim.* 17, e17013. DOI 10.7213/1981-4178.2019.17013.

Nava-Trujillo, H., Valeris-Chacin, R., Morgado-Osorio, A., Valero-Guerra, J., 2019b. Effect of parity and season of calving on the postpartum reproductive activity of water buffalo cows. *Zhivotnovadni Nauki (Bulgarian Journal of Animal Husbandry)* 56(4), 3-12.

Nava-Trujillo, H., Valeris-Chacin, R., Quintero-Moreno, A., Escalona-Muñoz, J., 2020. Milk yield at first lactation, parity, and season of calving affect the reproductive performance of water buffalo cows. *Anim. Prod. Sci.* 60(8), 1073-1080. <https://doi.org/10.1071/AN18420>

Nazir, G., Ghuman, S.P., Singh, J., Honparkhe, M., Ahuja, C.S., Dhaliwal, G.S., Sangha, M.K., Saijpaul, S., Agarwal, S.K., 2013. Improvement of conception rate in postpartum flaxseed supplemented buffalo with Ovsynch+CIDR protocol. *Anim. Reprod. Sci.* 137(1-2), 15-22. doi: 10.1016/j.anireprosci.2012.11.012.

- Neglia, G., Gasparrini, B., Di Palo, R., De Rosa, C., Zicarelli, L., Campanile, G., 2003. Comparison of pregnancy rates with two oestrus synchronization protocols in Italian Mediterranean Buffalo cows. *Theriogenology* 60, 125–133.
- Neglia, G., Natale, A., Esposito, G., Salzillo, F., Adinolfi, L., Campanile, G., Francillo, M., Zicarelli, L., 2008. Effect of prostaglandin F2alpha at the time of AI on progesterone levels and pregnancy rate in synchronized Italian Mediterranean buffaloes. *Theriogenology* 69(8), 953-60. doi: 10.1016/j.theriogenology.2008.01.008.
- Neglia, G., Capuano, M., Balestrieri, A., Cimmino, R., Iannaccone, F., Palumbo, F., Presicce, G. A., & Campanile, G., 2018. Effect of consecutive re-synchronization protocols on pregnancy rate in buffalo (*Bubalus bubalis*) heifers out of the breeding season. *Theriogenology*, 113, 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.01.020>
- Norman, H.D., Wright, J.R., Kuhn, M.T., Hubbard, S.M., Cole, J.B., VanRaden, P.M., 2009. Genetic and environmental factors that affect gestation length in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2009; 92(5): 2259-2269. doi: 10.3168/jds.2007-0982
- Othoman, O.E., Ahmed, W.M., Balabel, E.A., 2014. Genetic polymorphism of Cyp19 gene and its association with ovarian activity in Egyptian buffaloes. *Global Veterinaria* 12(6), 768-773. DOI: 10.5829/idosi.gv.2014.12.06.83270.

- Pandey, A.K., Dhaliwal, G.S., Ghuman, S.P.S., Agarwal, S.K., 2011. Impact of pre-ovulatory follicle diameter on plasma estradiol, subsequent luteal profiles and conception rate in buffalo (*Bubalus bubalis*). Anim. Reprod. Sci. 123, 169-174. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.12.003>
- Pandey, A.K., Ghuman, S.P., Dhaliwal, G.S., Kumar, A., Agarwal, S.K., 2013. Impact of buserelin acetate or hCG administration on day 12 post-ovulation on subsequent luteal profile and conception rate in buffalo (*Bubalus bubalis*). Anim. Reprod. Sci. 136(4), 260-267. doi:10.1016/j.anireprosci.2012.10.021
- Pandey, A. K., Dhaliwal, G. S., Ghuman, S. P., & Agarwal, S. K., 2015. Impact of buserelin acetate or hCG administration on day 5 post-ovulation on subsequent luteal profile and conception rate in Murrah buffalo (*Bubalus bubalis*). Anim. Reprod. Sci. 162, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.09.013>
- Pandey, A., Dhaliwal G., Ghuman, S.P.S., Agarwal., S.K., 2016. Impact of Buserelin Acetate or hCG Administration on the Day of First Artificial Insemination on Subsequent Luteal Profile and Conception Rate in Murrah Buffalo (*Bubalus bubalis*). Reprod. Dom. Animals 51, 478-484.
- Pandey, A.K., Ghuman, S.P.S., Dhaliwa, G.S., Honparkhe, M., Phogat, J.B., Kumar, S., 2018. Effects of preovulatory follicle size on estradiol concentrations, corpus luteum diameter, progesterone concentrations and subsequent pregnancy rate

in buffalo cows (*Bubalus bubalis*). *Theriogenology* 107, 57-62.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.10.048>

Pandey, A.K., Gunwant, P., Soni, N., Kavita, Kumar, S., Kumar, A., Magotra, A., Singh, I., Phogat, J.B., Sharma, R.K., Bangar, Y., Ghuman, S.P.S., Sahu, S.S., 2019. Genotype of MTNR1A gene regulates the conception rate following melatonin treatment in water buffalo. *Theriogenology* 128, 1-7. doi: 10.1016/j.theriogenology.2019.01.018.

Patel, M., Lakhani, G.P., Ghosh, S., Nayak, S., Roy, B., Baghel, R.P.S., Jain, A., 2018. Effect of body condition score on milk production, milk composition and reproductive performance of lactating Murrah buffaloes. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci* 7(11), 1204-1212. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.711.140>

Parmar, G.A., Gupta, J.P., Pandey, D.P., Chaudhari, J.D., Prajapati, B.M., Sathwara, R.N., Patel, P.A., 2017. Genetic and non-genetic factors affecting reproduction traits in Mehsana buffaloes. *Life Sciences Leaflets* 92, 61-69.

Porto-Filho, R.M., Gimenes, L.U., Monteiro, B.M., Carvalho, N.A.T., Ghuman, S.P.S., Madureira, E.H., Baruselli, P.S., 2014. Detection of estrous behavior in buffalo heifers by radiotelemetry following PGF2 α administration during the early or late luteal phase. *Anim. Reprod. Sci.* 144, 90-94. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.12.006>

- Qureshi, M.S., Ahmad, N., 2008. Interaction of calf suckling, use of oxytocin and milk yield with reproductive performance of dairy buffaloes. *Anim. Reprod. Sci.* 106(3-4), 380-392.
- Rahman, M.S., Shohag, A.S., Kamal, M.M., Parveen, N., Shamsuddin, M., 2012. Application of ultrasonography to investigate postpartum anestrus in water buffaloes. *Reprod. Dev. Biol.* 36(2), 103-108.
- Raj, M.P., Venkata Naidu, G., Srinivas, M., Raghunath, M., Rao, K.A., 2016. Relationship of body condition score at estrus and conception rate in graded Murrah buffaloes. *J. Anim. Res.* 6(5), 829-834.
- Rao, T.K.S., Kumar, N., Kumar, P., Chaurasia, S., Patel, N.B., 2013. Heat detection techniques in cattle and buffalo. *Veterinary World* 6(6), 363-369 doi:10.5455/vetworld.2013.363-369.
- Reddy, N.A., Venkata Seshiah, C.H., Sudhakar, K., Srinivasa Kumar, D., Kanth Reddy, P.R., 2017. Negative energy balance indicators as predictors for milk production in high yielding Murrah buffaloes. *GJBB* 6(2), 369-373.
- Reddy, N.A., Venkata Seshiah, Ch., Sudhakar, K., Srinivasa Kumar, D., Kanth Reddy, P.R., 2018. Effects of shortened dry period on the physical indicators of energy reserves mobilization in high yielding Murrah buffaloes. *Indian J. Anim. Res.* 52(11), 1656-1660. DOI: 10.18805/ijar.B-3406
- Reddy, N.A., Venkata Seshiah, C.H., Sudhakar, K., Srinivasa Kumar, D., Kanth Reddy, P.R., 2018. Extent of adaptation of high yielding

murrah buffaloes to negative energy balance in response to various dry period lengths. Indian J. Anim. Res. 52(11), 552-1556. DOI: 10.18805/ijar.B-3407

Riaz, U., Hassan, M., Husnain, A., Naveed, M.I., Singh, J., Ahmad, N. 2018. Effect of timing of artificial insemination in relation to onset of standing estrus on pregnancy per AI in Nili-Ravi buffalo. Anim. Reprod. 15(4): 1231-1235. <http://dx.doi.org/10.21451/1984-3143-AR2017-0015>

Rojas, N.J., 2016. Comportamiento productivo y reproductivo de búfalas lecheras en un sistema semi-intensivo bajo condiciones de bosque húmedo tropical. Trabajo de Ascenso. Universidad del Zulia. Facultad de Ciencias Veterinarias. Departamento de Producción Animal. Cátedra de Sistemas de Producción de Rumiantes. Maracaibo, Venezuela. 2016; 88 p.

Rossi, P., Vecchio, D., Neglia, G., Di Palo, R., Gasparrini, B., D'Occhio, R., Campanile, G., 2014. Seasonal fluctuations in the response of Italian Mediterranean buffaloes to synchronization of ovulation and timed artificial insemination. Theriogenology 82(1), 132-137. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.03.005>

Sabia, E., Napolitano, F., De Rosa, G., Terzano, G.M., Barile, V.L., Braghieri, A., Pacelli, C., 2014. Efficiency to reach age of puberty and behavior of buffalo heifers (*Bubalus bubalis*) kept on pasture or in confinement. Animal 8(11), 1907-1916. DOI:10.1017/S1751731114001876.

- Safari, A., Shadparvar, A.A., Hossein-Zadeh, N.G., Abdollahi-Arpanahi, R., 2019. Economic values and selection indices for production and reproduction traits of Iranian buffaloes (*Bubalus bubalis*). Trop. Anim. Health Prod. 51(5), 1209-1214 <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01811-7>.
- Salzano, A., Spagnuolo, M.S., Lombardi, P., Vecchio, D., Limone, A., Censi, S.B., Balestrieri, A., Pelagalli, A., Neglia, G., 2017. Influences of different space allowance on reproductive performances in buffalo. Anim. Reprod. 14(2), 429-436. <http://dx.doi.org/10.21451/1984-3143-AR799>
- Sanker S., Kumar D., Mandal K.G., Taggar R.K., Das A.K., 2014. Factors influencing the dry period and calving interval in different grades of buffaloes. Buffalo Bulletin 33(1), 120-126.
- Seno, L.O., Cardoso, V.L., El Faro, L., Sasana, R.C., Aspilcueta-Borquis, R.R., De Camargo, G.M.F., Tonhati, H., 2010. Genetic parameters for milk yield, age at first calving and interval between first and second calving in milk Murrah buffaloes. Liv. Res. Rural Dev. 22, Article #38 <http://www.lrrd.org/lrrd22/2/seno22038.htm>
- Shah, S.N.H., 2007. Prolonged calving intervals in the Nili Ravi buffalo. Italian J. Anim. Sci. 6(Suppl 2), 694-696. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.694>
- Shah, S.N.H., Dijkhuizen, A.A., Willemse, A.H., Van der Wiel, D.F.M., 1991. Economic aspects of reproductive failure in dairy

buffaloes of Pakistan. Prev. Vet. Med. 11, 147-155.
[https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(05\)80036-4](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(05)80036-4)

Shalaby, NA, Oudah, E.Z.M., El-Sharkawy, Y.M.S., 2016. Comparison between some productive and reproductive traits and genetic parameters in the first three lactations in Egyptian buffaloes. J. Anim. Poultry Prod. 7(3), 113-119.

Sosa, A.S.A., Mahmoud, K.Gh.M., Kanddiel, M.M.M., Eldebaky, H.A.A., Nawito, M.F., Abou El-Roos, M.E.A., 2016. Genetic polymorphism of luteinizing hormone receptor gene in relation to fertility of Egyptian buffalo. BioTechnology 12(5), 1-11.

Srivastava, S., Sahni, K., Mohan, G., 1998. Time of insemination and conception in cows and buffaloes under field condition. Indian J. Anim. Sci. 68, 129-130.

Sweers, W., Mohring, T., Muller, J., 2014. The economics of water buffalo *Bubalus bubalis* breeding, rearing and direct marketing. Archiv fur Tierzucht 57, 1-11..
<https://doi.org/10.7482/0003-9438-57-022>

Terzano, G.M., Barile, V.L., Mongiorgi, S., Borghese, A., 1993. Effeto di diversi livelli alimentari sulla pubertà in bufale di razza Mediterranea. Atti 47o Conv. S.I.S. Vet. 1993; Riccione: 1803-1807

Thiruvankadan, A.K., Panneerselvam, S., Murali, N., Selvam, S., Ramesh Saravana, K.V., 2014. Milk production and reproduction

- performance of Murrah buffaloes of Tamil Nadu, India. Buffalo Bulletin 33, 291-300.
- Timsina, M.P., Tamag, N.B., Rai, D.B., Siddky, M.N.A., 2015. Comparative production and reproduction performances of local and Murrah-cross buffaloes managed by smallholder farmers in Bhutan. SAARC J. Agri. 13(1): 200-206. <https://doi.org/10.3329/sja.v13i1.24192>
- Vala, K.B., Dhami, A.J., Kavani, F.S., Parmar, S.C., Raval, R.J., Sarvaiya, N.P., Gajbhiye, P.U. 2019. Impact of bypass fat and mineral supplementation peripartum on plasma profile of steroid hormones, PGFM and postpartum fertility in Jaffarabadi buffaloes. Indian J. Anim. Res. 53(8), 1042-1048.
- Vale, W.G., Ribeiro, H.F.L., 2005. Características reprodutivas dos bubalinos: puberdade, ciclo estral, involução uterina e atividade ovariana no pós-parto. Rev. Bras. Reprod. Anim. 29: 63-73.
- Valsalan, J., Chakravarty, A.K., Patil, C.S., Dash, S.K., Mahajan, A.C., Kumar, V., Vohra, V., 2014. Enhancing milk and fertility performances using selection index developed for Indian Murrah buffaloes. Trop. Anim. Health Prod. 46, 967-74. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0596-3>
- Vecchio, D., Neglia, G., Rendina, M., Marchiello, M., Balestrieri, A., Di Palo, R. 2007. Dietary influence on primiparous and multiparous buffalo fertility. Italian J. Anim. Sci. 6(Suppl 1), 512-514.

Vecchio, D., Neglia, G., Di Palo, R., Prandi, A., Gasparrini, B., Balestrieri, A., D'Occhio, M. J., Zicarelli, L., Campanile, G., 2010. Is a delayed treatment with GnRH, HCG or progesterone beneficial for reducing embryonic mortality in buffaloes?. *Reproduction in Domestic Animals* 45(4), 614–618. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2008.01312.x>

Vilela, R.N.S., Sena, T.M., Aspilcueta-Borquis, R.R., Seno, L.O., De Araujo Neto, F.R., Becker Scalez, D.C., Tonhati, H., 2020. Genetic correlations and trends for traits of economic importance in dairy buffalo. *Anim. Prod. Sci.* 60(4), 492-496. DOI: 10.1071/AN19051

Weigel, K.A., 2006. Prospects for improving reproductive performance through genetic selection. *Anim. Reprod. Sci.* 96, 323-330. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2006.08.010>

Zicarelli, L., 1994. Management in different environmental conditions. *Buffalo J. Suppl.* 2: 17-38.

Zicarelli, L., Note comparative di fisiopatologia della riproduzione tra le specie bovina e bufalina. *Proc Giornate Buiatriche* 1997a; p. 84-104.

Zicarelli, L., 1997b. Reproductive seasonality in buffalo. In: *Proceedings of the Third Course on Biotechnology of Reproduction in Buffaloes (Issue II)*; p. 29-52.

Zicarelli, L., Esposito, L., Campanile, G., Di Palo, R., Armstrong, D.T., 1997c. Effects of using vasectomized bulls in artificial

insemination practice on the reproductive efficiency of Italian buffalo cows. Anim. Reprod. Sci. 47(3), 171-80.
[https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(97\)00008-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(97)00008-0)

Zicarelli, L., 2007. Can we consider buffalo a non-precocious and hypofertile species?. Italian J. Anim. Sci. 6(Suppl 2), 143-154.
DOI: 10.4081/ijas.2007.s2.143

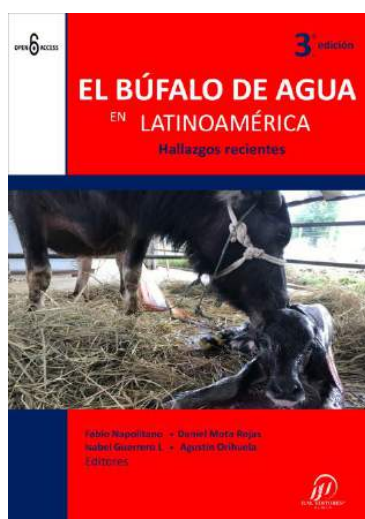
Zicarelli, L., 2020. Considerations on the breeding and weaning of buffalo calf. J. Buffalo Sci. 9, 84-91.



CAPÍTULO 11

FACTORES EXTRÍNSECOS QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DE LA BÚFALA DE AGUA

Hector Nava-Trujillo, Robert Valeris-Chacin, Simón Zambrano-Salas, Adriana Morgado-Osorio, Javier Hernández, Janeth Caamaño y Armando Quintero-Moreno



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 11

Factores extrínsecos que afectan el desempeño reproductivo de la búfala de agua

Hector Nava-Trujillo¹, Robert Valeris-Chacin^{2,3}, Simón Zambrano-Salas⁴, Adriana Morgado-Osorio¹, Javier Hernández⁵, Janeth Caamaño¹ y Armando Quintero-Moreno⁶

¹ Producción Animal, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de los Andes, Mérida, Mérida, Venezuela.

² Department of Veterinary and Biomedical Sciences, College of Veterinary Medicine, University of Minnesota, Saint Paul, Minnesota, USA.

³ Departamento de Sanidad Animal y Salud Pública, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad del Zulia, Maracaibo, Zulia, Venezuela.

⁴ Departamento de Ciencias Agrarias, Núcleo Universitario Alberto Adriani (NUAA), Universidad de los Andes, El Vigía, Mérida, Venezuela.

⁵ Producción Vegetal, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de los Andes, Mérida, Mérida, Venezuela.

⁶ Laboratorio de Andrología, Unidad de Investigación en Producción Animal (UNIPA), Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad del Zulia, Maracaibo, Zulia, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

La reproducción es una consecuencia, y especialmente bajo condiciones tropicales la eficiencia reproductiva está bajo la influencia de una gran variedad de factores. En este capítulo describiremos como los factores extrínsecos afectan el desempeño reproductivo de la búfala de agua, e incluimos entre estos a la gerencia, pues de ella depende en gran medida que tan perjudicial serán los demás factores. Como se describió en el capítulo 10, sobre el efecto de factores intrínsecos sobre el desempeño reproductivo de la búfala, cada día extra en el intervalo a la concepción o entre partos tiene un costo que



disminuye la rentabilidad del sistema y es nuestra labor disminuir ese impacto, ya que la reproducción es el mayor componente que determina la rentabilidad. En este capítulo, además, presentaremos algunas alternativas que permitan el logro de la meta reproductiva de un intervalo parto concepción máximo de 90 días en la mayoría de las búfalas.

FACTORES EXTRÍNSECOS QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DE LA BÚFALA DE AGUA

Época de parto

Los búfalos de agua son una especie de días cortos y la época de parto afecta su desempeño reproductivo (Naqvi et al., 2000; Barile, 2005; Zicarelli, 2010; Kumar, 2015; Gasparrini, 2019; Nava-Trujillo et al., 2019ab; Nava-Trujillo et al., 2020). Las búfalas que paren en meses de fotoperiodo corto tienen un inicio más temprano de la actividad reproductiva y un intervalo parto concepción más corto y, por lo tanto, un intervalo entre partos (IEP), más corto que las que paren durante la época de fotoperiodo largo (Barile 2005; Hassan et al., 2017; Nava-Trujillo et al., 2019a; Nava-Trujillo et al., 2020). Esto debido a que durante la época de fotoperiodo largo (Marzo-Agosto, en el hemisferio norte) el periodo de anestro es más largo y por ende las probabilidades de monta antes de los 60 y 100 días postparto son menores (0.134 y 0.312 respectivamente, $P < 0.05$) en comparación con la época de fotoperiodo corto (Septiembre-Febrero; 0.354 y 0.536, respectivamente), cuando además las montas son más frecuentes

(70.6%) (Nava-Trujillo et al., 2019a). Recientemente, se ha reportado que la tasa de preñez es más baja durante la primavera/verano que durante el otoño/invierno (Dharap 2016; El-Tarabany 2018; Qayyum et al., 2018). En Venezuela, las búfalas que parieron entre Diciembre y Marzo o Abril y Julio tuvieron un IEP más largo (452.2 y 450.6 días, respectivamente) que los que parieron entre Agosto y Noviembre (435.6 días, $P < 0.05$) (Nava-Trujillo et al., 2020). Todo esto está relacionado con el hecho de que las búfalas que ovulan durante la época de fotoperiodo largo tienen folículos más pequeños, niveles de estrógeno más bajos, una tasa más alta de celos silentes y de ciclos irregulares, niveles más bajos de progesterona, baja calidad embrionaria, mayor incidencia de muerte embrionaria temprana y tardía, mayor incidencia de repetición de servicios y por ende menor fertilidad (Zoheir et al., 2007; Di Francesco et al., 2012; El-Naby et al., 2013; Saraswat y Purohit 2016). Rossi et al. (2014) en Italia, observaron que las búfalas con partos entre Octubre-Diciembre, tienen una mayor probabilidad de preñez al ser tratadas con el protocolo Ovsynch e inseminadas a tiempo fijo que las que paren durante el resto del año, y más recientemente se ha reportado que búfalas sometidas a transferencia embrionaria durante la época de baja actividad reproductiva (Octubre-Abril en Brazil, hemisferio sur) presentaron mayor tasa de pérdidas de preñez entre los 30 y 60 días, entre los 60 días y el parto, y entre los 30 días y el parto, que las búfalas que recibieron la transferencia embrionaria en la época de

mayor actividad reproductiva (12.8%, 26.8% y 36.2% vs 0%, 3.6% y 3.6% respectivamente, $P < 0.05$) (Saliba et al., 2020).

Algunas de las fallas reproductivas durante la época de fotoperiodo largo están relacionadas con el aumento de los niveles de prolactina, que parecen promover una disminución en la secreción de gonadotropinas y una disminución de la capacidad esteroidogénica folicular, generando anestro e infertilidad (Mondal et al 2007; Roy et al., 2007). Además, durante la época de fotoperiodo largo, el cuerpo lúteo recibe menor flujo sanguíneo, lo que compromete su capacidad para producir progesterona, lo que está relacionado con embriones de menor tamaño, que son más propensos a muerte embrionaria (Campanile et al., 2005; Russo et al., 2010; Di Francesco et al., 2012; Neglia et al., 2012; Balestrieri et al., 2013; Salzano et al., 2017). Sin embargo, en el caso de las novillas, el fotoperiodo largo parece no afectar la fertilidad, probablemente porque estas tienen niveles más altos de melatonina durante las horas de luz en comparación con las búfalas paridas (Borghese et al., 1995; Zicarelli 2010).

La mayor eficiencia reproductiva observada en la época de fotoperiodo corto podría estar relacionada además con la disminución de la temperatura, de la humedad relativa y el índice de temperatura-humedad (THI) (Hassan et al., 2017; Salzano et al., 2017). Dash et al. (2015), reportaron una relación negativa entre el THI y la tasa de preñez en búfalas Murrah, con una disminución significativa en este

parámetro cuando el THI fue mayor de 75. Un THI > 80, provocó una reducción significativa en la tasa de concepción en el primer servicio en comparación con un THI < 80, y en consecuencia se produjo un aumento significativo en el intervalo entre partos (Nasr, 2016; El-Tarabany, 2018). Aunque el efecto del THI alto sobre el desempeño reproductivo parece depender de la raza (Nasr 2017). Además, este efecto es cuestionable en algunas regiones como en Italia, donde la fertilidad mejora entre Julio y Septiembre, cuando la temperatura y el THI son más altos, y esto da mayor relevancia al fotoperíodo como principal regulador de la estacionalidad (Zicarelli, 2010).

Ante este panorama, aumentar la actividad reproductiva en los meses de fotoperíodo corto, cuando las búfalas son más fértiles, puede ser una alternativa válida para maximizar la eficiencia reproductiva y la rentabilidad del sistema, dado que las búfalas con mejor desempeño económico son las que paren en fotoperíodo corto (Hassan et al., 2017). Para esto, un programa de manejo integral que disminuya la incidencia de anestro y las fallas en la detección de celos es necesario; además el uso de la monta natural en vez de inseminación artificial podría ser una alternativa para aumentar la tasa de preñez durante esta época (Qayyum et al., 2018).

Sin embargo, tomando en cuenta que en algunas regiones los productores tienen la necesidad de cambiar el calendario de partos para satisfacer las demandas de leche del mercado o aprovechar los

mejores precios, pero que esta práctica puede tener consecuencias negativas debido a la mayor incidencia de anestro y de muerte embrionaria en los meses de fotoperiodo largo, es necesario contar con alternativas para disminuir estas fallas reproductivas. Así, la incorporación de piscinas/lagunas o mejor aún espacios sombreados entre otras estrategias para mitigar el estrés calórico podrían mejorar la eficiencia reproductiva (Dash et al., 2016; Zicarelli 2017). La incorporación de toros durante la época de fotoperiodo largo podría reducir la incidencia de anestro, dado su efecto bioestimulador (Zicarelli et al., 1997). También la aplicación de protocolos hormonales para sincronizar la ovulación y evitar la necesidad de observar celos durante la época de fotoperiodo largo permite reducir las fallas reproductivas y mejorar la fertilidad en comparación con la inseminación a celo natural (Mirmahmoudi et al., 2012). También en el caso de que la inseminación artificial sea el método de apareamiento elegido, el uso de semen congelado colectado durante la época de mayor actividad reproductiva, el cual tiene mejor calidad (Younis et al., 1998), o la inseminación con semen refrigerado (Almeida et al., 2020) y por supuesto la mejora de la detección de celos son parte de las alternativas a disposición a fin de mejorar la eficiencia reproductiva durante la época de fotoperiodo largo. Otra alternativa para disminuir la baja eficiencia reproductiva durante el fotoperio largo es el tratamiento con melatonina. Kumar et al. (2015), trataron a bufalas en anestro durante la epoca de fotoperiodo largo con 18 mg de melatonina por cada 50 kilos de peso vivo, alcanzando una tasa de

celos de 90%, con un intervalo de 18.06 ± 1.57 días post-tratamiento; en comparación con el 0% en el grupo control; y resultados similares han sido reportado en novillas en anestro durante la época de fotoperiodo largo (Ghuman et al., 2010). También se ha reportado que el tratamiento con melatonina durante la época de fotoperiodo largo, no solo incrementa la tasa de celos, sino que también mejora la fertilidad cuando se administra cinco días luego de la inseminación (Kumar et al., 2016).

Sexo de la cría y amamantamiento

En varias especies la lactancia retrasa el inicio de la actividad reproductiva postparto, no solo por el efecto negativo de la síntesis de leche y del nivel de producción, sino también por la presencia de la cría e incluso el sexo de la cría puede influir sobre la actividad reproductiva postparto, aunque aún son pocos los estudios evaluando estas relaciones. En Venezuela, Montiel Urdaneta (2006), reportó que tanto el intervalo parto concepción como el IEP fueron más largos para las búfalas con crías macho (71.84 días y 388.22 días respectivamente vs 54.13 días y 370.04 días respectivamente, $P < 0.01$). Khan et al. (2012), observaron que tanto vacas como búfalas con terneros macho tenían un intervalo parto concepción más largo, y esto coincide con Kantharaja et al. (2018). Mientras que Amjad et al. (2016), observaron que las búfalas con terneros macho tenían una mayor incidencia de trastornos reproductivos (distocia, retención de membranas fetales y prolapso uterino), y esto estuvo relacionado con el mayor peso de los

machos. Ante esta situación y en especial en aquellos sistemas, cuyo principal objetivo es la producción de leche, el uso de semen sexado para producir hembras, debido a su menor peso de nacimiento, podría contribuir a mejorar la eficiencia reproductiva al evitar los efectos negativos de las crías macho.

El-Fouly et al. (1976), reportaron que las búfalas destetadas ovularon por primera vez a los 51.6 ± 2.1 días, mientras que las que amamantaron a sus crías tuvieron la primera ovulación postparto a los 87.0 ± 2.9 días. El amamantamiento provocó una disminución en el porcentaje de búfalas que presentaron celo en los primeros 60 días postparto (19.1% vs 31%), con un intervalo parto primer celo de 131.5 ± 4.9 días para búfalas amamantando y 77.9 ± 4.1 para las destetadas, con un impacto negativo mayor en primíparas (El-Fouly et al., 1976). Qureshi y Ahmad (2008), reportaron una correlación positiva entre los días de duración del período de amamantamiento y el intervalo parto primera ovulación ($r = 0.19$, $P < 0.01$) y parto primer celo ($r = 0.23$, $P < 0.01$), con las búfalas amamantando por un máximo de 30 días teniendo intervalos a la primera ovulación y al primer celo más cortos que aquellas con un período de amamantamiento más largo. Rijasnaz et al., (2014), encontraron que el amamantamiento redujo la ciclicidad y la preñez en los primeros 150 días postparto, provocando un alargamiento de los intervalos al celo y a la concepción (128 ± 9.94 días y 143.50 ± 5.50 días, respectivamente) en comparación con las búfalas que no amamantaron a sus terneros (53.29 ± 7.52 días y 75.67 ± 10.16 días, respectivamente, $P < 0.05$).

Además, Kantharaja et al. (2018), reportaron que las búfalas destetadas tenían un intervalo al primer celo más corto (62.50 ± 1.50 días) en comparación con las que amamantaron a sus crías (99.25 ± 9.15 días, $P < 0.05$). El mecanismo por el cual el amamantamiento retrasa el inicio de la actividad reproductiva es complejo e implica una disminución de la secreción de LH y, en consecuencia, un retraso del desarrollo folicular (Perea-Ganchou et al., 2008). En búfalas, el amamantamiento no afectó las concentraciones basales de LH entre los 25 y 35 días postparto, pero si el nivel del pico de LH y el área bajo la curva de LH luego del tratamiento con GnRH, siendo mayores en las búfalas destetadas desde el parto en comparación con las que amamantaron a sus crías dos veces al día (26.2 ± 4.3 ng/ml y 2108.9 ± 323.9 mm² vs 14.3 ± 2.7 ng/ml y 1575.6 ± 197.4 mm²; $P < 0.05$) (Singh et al., 2006). Tomando en cuenta los hallazgos mencionados, controlar la duración del período de amamantamiento podría reducir la duración del período de anestro postparto y la incidencia de esta patología y mejorar la fertilidad; así el destete al parto (Singh et al., 2016) o al tercer día postparto (Rijasnaz et al., 2014) o la sustitución de las crías con un ternero artificial sintético (Singh et al., 2016) redujo el anestro posparto, el intervalo parto concepción y mejoró la fertilidad y la tasa de preñez. Sin embargo, dado el escaso número de estudios acerca del efecto del destete sobre el desempeño reproductivo de búfalas y la salud de los terneros; la edad al destete y el sistema de destete deben considerarse cuidadosamente porque este podría tener un impacto negativo en la salud de los terneros (Orihuela et al., 2020).

Uso de oxitocina al momento del ordeño

Una práctica cada vez más común, dado el aumento del número de búfalas por rebaño y la adopción del ordeño mecánico, es el uso de oxitocina para inducir la bajada de la leche, y algunos estudios han reportado efectos negativos de esta práctica sobre el desempeño reproductivo. Qureshi y Ahmad (2008), observaron un aumento del intervalo parto primer servicio y parto primera ovulación asociado al uso de oxitocina; y más recientemente se ha observado una correlación positiva entre el uso de oxitocina y el período de anestro posparto (Kumar et al., 2020). Además, el uso de oxitocina aumentó la incidencia de problemas reproductivos como quistes foliculares y lúteos, retención de placenta, anestro y repetición de servicios (Mustafa et al., 2008). Sin embargo, dado el uso frecuente de oxitocina en el ordeño y los pocos estudios que reportan una relación negativa entre su uso y el desempeño reproductivo de las búfalas, se justifica más investigación para tener una mayor comprensión de los posibles efectos de esta hormona en los diferentes eventos reproductivos en búfalas.

Proteínas, minerales y vitaminas en la dieta

El diseño de una dieta adecuada permitirá disminuir la incidencia de anestro y mejorar la fertilidad. Como describimos en el capítulo referente a factores intrínsecos, el nivel de producción de leche, el

nivel de consumo de materia seca y la densidad energética de la dieta determinan el balance energético de la búfala, y este tiene un impacto importante en el desempeño reproductivo. En esta sección, describiremos el impacto del nivel de proteína, minerales y vitaminas, los cuales son más controlables por el ganadero al diseñar la dieta. El nivel de proteína cruda en la dieta se correlacionó positivamente con la urea en suero ($r = 0.22$, $P < 0.01$), y ambas se relacionaron con intervalos al primer celo y a la primera ovulación postparto, más largos (Qureshi et al., 2002). Un nivel de urea ≥ 6.83 mmol/L se asoció con una reducción en la probabilidad de preñez, con las búfalas con menor urea en sangre teniendo 2.6 veces más probabilidades de preñarse (Campanile et al., 2006). La deficiencia de cobre está relacionada con un nivel bajo de progesterona, y el 21% de las búfalas con deficiencia de cobre tuvieron inactividad ovárica, y esto podría estar asociado con una menor condición corporal, un nivel más alto de estrés oxidativo y niveles más bajos de ceruloplasmina como se observó en los animales con deficiencia de cobre (Ahmed et al., 2009). En búfalas repetidoras, se han encontrado menores niveles séricos de calcio, fósforo inorgánico, magnesio, cobre, hierro y zinc que en búfalas con ciclicidad normal (Akhtar et al., 2014), mientras que Hafez (2019), observó que las búfalas en anestro tenían niveles más bajos de fósforo y zinc, y una proporción más baja de P:Ca y Zn:Cu que las búfalas cíclicas. La suplementación con vitamina E, selenio y niacina reducen el anestro postparto (Ezzo, 1995; Panda et al., 2006), y la administración oral de vitaminas A, D3 y E desde cuatro semanas antes del parto hasta la

séptima semana postparto disminuyó los niveles de NEFAs postparto, mejoró la calidad del moco vaginal, disminuyó la incidencia de endometritis subclínica y disminuyó el intervalo parto concepción en comparación con el grupo control (97.50 ± 15.75 vs. 152.1 ± 24.45) (Ahmed *et al.*, 2017), y esto coincide con los resultados de Ayaz *et al.* (2019), quienes al administrar por vía parenteral vitamina E y selenio desde un mes antes del parto y hasta 120 días postparto, observaron un aumento de la tasa de celos (70%) y preñez (40%) y una disminución del intervalo parto concepción (80.85 ± 30.53 días) en comparación con las búfalas no tratadas (30%, 10% y 156.6 ± 92.3 días respectivamente). Además, la suplementación de búfalas repetidoras con una mezcla mineral (150 g/día) mejoró la preñez (87%) en comparación con las búfalas repetidoras no suplementadas (21%), con la tasa de preñez a la primera inseminación (celo natural) siendo de 42% y 6% respectivamente (Akhtar *et al.*, 2014). Estos hallazgos, resaltan la importancia de la nutrición proteica, vitamínica y mineral para la especie y también establecen la necesidad del diseño de suplementos vitamínicos y minerales específicos para búfalos.

Presencia de los toros

La presencia continua de toros, como parte del sistema de manejo de las búfalas, mejora la eficiencia reproductiva (Abdalla, 2003; Kumar *et al.*, 2020). La presencia de toros vasectomizados aumentó la tasa de celos y la intensidad de estos, la tasa de celos ovulatorios y la tasa de preñez tanto a celo natural como inducido; además, estos efectos

fueron mayores durante la temporada de baja actividad reproductiva (Zicarrelli et al., 1997). La presencia del toro entre los días 40 y 90 postparto acortó el intervalo al reinicio de la actividad ovárica, al celo y la ovulación (47.4 ± 2.58 días, 48.1 ± 2.69 y 57.7 ± 3.61 vs 56.0 ± 2.37 días, 57.0 ± 2.37 días y 71.3 ± 5.13 días respectivamente, $P < 0.05$), redujo el porcentaje de celos silentes (18.18% vs 50%), aumentó la tasa de búfalas en celo a los 60 días postparto (81.82% vs 38.46%, $P < 0.05$), aumentó los niveles de progesterona, la fertilidad al primer servicio y el porcentaje de preñez a los 60 días postparto (Gokuldas et al., 2010).

La presencia continua de toros desde el quinto día postparto acortó el intervalo al primer celo (55.2 ± 0.78 días, $P < 0.05$) en comparación con las búfalas en las que la presencia de toros fue intermitente (66.71 ± 0.93 días) o con las búfalas expuestas a orina y heces de toros (68.25 ± 0.87 días) o las controles (68.57 ± 0.93 días) (Akhat et al., 2018). En Pakistán, durante la temporada de baja actividad reproductiva la presencia continua o parcial del toro aumentó el porcentaje de búfalas en celo (60% y 40% respectivamente) y la tasa de preñez a los 60 días post-servicio (40% y 20%, respectivamente) en comparación con las búfalas no expuestas (5% y 0%) (Zaidi y Anwar 2018). Sin embargo, para observar un acortamiento del intervalo al celo, fue necesaria la presencia continua del toro (Zaidi y Anwar 2018). Recientemente se determinó que la presencia de un toro a menos de 20 pies acortaba el inicio de la actividad ovárica postparto (Kumar et al., 2020). Los efectos

de la presencia del toro podrían deberse a la acción de las feromonas que actúan sobre el eje hipotalámico-hipofisario para promover la secreción de LH y consecuentemente la actividad folicular y la ovulación y la formación de un cuerpo lúteo competente que secreta niveles más altos de progesterona favoreciendo el establecimiento de la preñez (Gokuldas et al., 2010).

Sin embargo, la mera presencia de los toros no es suficiente para maximizar el desempeño reproductivo de las búfalas, necesitamos que estén saludables y de igual forma que tengan un buen desempeño reproductivo, y diferentes condiciones hereditarias, congénitas e infecciosas pueden afectar el potencial reproductivo de los toros y, en consecuencia, el rendimiento reproductivo de los rebaños (Perumal et al., 2012; Perumal et al., 2013; Perumal et al., 2016). Se han observado correlaciones positivas entre el peso corporal y los niveles de testosterona ($r = 0.58$; $P < 0.0001$) y entre la testosterona y la circunferencia escrotal ($r = 0.16$; $P < 0.02$) (Santos et al., 2017), y bajos niveles de testosterona y óxido nítrico han sido asociados con un pobre comportamiento sexual (Swelum et al., 2017). La edad y la época del año pueden afectar el comportamiento sexual y la calidad del esperma. Los toros adultos (4-8 años) tienen mayor peso corporal, circunferencia escrotal y libido que los toros más jóvenes o viejos; y estos parámetros fueron mayores durante la época de fotoperiodo corto (Septiembre-Noviembre) (Younis et al., 2003), y de manera similar, la calidad del semen descongelado fue mayor en los búfalos

adultos que en los toros jóvenes o viejos, y durante la época de fotoperiodo corto (Younis et al., 1998). Los toros viejos ($13,6 \pm 1,0$ años) tienen menor calidad espermática (menor volumen del eyaculado, menor viabilidad e integridad del ADN) que los toros más jóvenes ($3,4 \pm 0,3$ años) (Ahmed et al., 2018). La circunferencia escrotal y la calidad espermática están relacionadas con la nutrición. El peso corporal se correlacionó positivamente con la circunferencia escrotal, y esta con la concentración de espermatozoides, mientras que la ingesta de proteína cruda se correlacionó positivamente con la motilidad espermática; y la ingesta de lípidos con la motilidad y la integridad de la membrana espermática (Garcia et al., 2012). Kumar y Srivastava (2017), encontraron una correlación positiva entre el peso corporal y la circunferencia escrotal, el volumen testicular, la concentración espermática, la motilidad y la viabilidad, mientras que se observó una correlación negativa con las morfoanomalías. Sin embargo, Yadav et al. (2018), observaron que un mayor grosor de la grasa subcutánea a nivel de la cadera se asoció con un alto porcentaje de morfoanomalías; además, se observó que el grosor de la grasa fue mayor en los toros con baja libido (7.29 ± 0.93 mm) que en los toros con alta libido (5.29 ± 0.62 mm, $P < 0.05$) (Singh et al., 2015). Otro aspecto que considerar en el caso de toros jóvenes es que su potencial reproductivo podría verse afectado por el comportamiento agresivo de toros dominantes (Henry et al., 2017). Además, el comportamiento agresivo es la principal razón para descartar toros (Napolitano et al., 2013). Sin embargo, la literatura científica disponible sobre estos

temas es escasa y se necesita mayor investigación tomando en cuenta que aun la monta natural es el principal método de apareamiento en las ganaderías bufalinas latinoamericanas. Por lo tanto, se deben seleccionar toros con edad, tamaño y peso corporal similares (para minimizar la dominancia/subordinación), con una circunferencia escrotal alta y en balance energético positivo y con una calificación positiva después de la evaluación andrológica. La nutrición equilibrada de energía, proteínas y minerales es necesaria para mejorar el potencial reproductivo de los toros en fotoperiodo corto, cuando la actividad estral es mayor, y durante la temporada de fotoperiodo largo si se usan para reducir el anestro estacional mediante bioestimulación. Una formulación mineral específica diseñada para búfalos fue capaz de aumentar la circunferencia escrotal y la calidad espermática en comparación con aquellos que recibieron una mezcla mineral específica para ganado vacuno (Viana et al., 2019). La torta de palmiste aumentó la secreción de testosterona (Santos et al., 2017), mientras que la aplicación parenteral de tonofosfan, zinc oral o ácido ascórbico aumentaron la circunferencia escrotal, el volumen testicular, redujeron el tiempo de reacción, mejoraron la calidad espermática y la tasa de concepción (Garb et al., 2018). Estas terapias podrían servir como soporte para toros con baja libido y antes del comienzo de la temporada reproductiva.

Enfermedades

Varias patologías que ocurren durante el parto generan una disminución de la eficiencia reproductiva en búfalas de agua. La ocurrencia de aborto, distocia, retención de membranas fetales, metritis, endometritis, piometra, anestro, repetición de celos, prolapso y crías mortinatas disminuyen la eficiencia reproductiva (Nasr 2017, Saraswat-Purohit 2016, Dhami et al., 2012, Khan et al., 2009, Jan et al., 2019). Además, diferentes agentes infecciosos (Thu et al., 1998, Fagiolo et al., 2005 Galiero 2007, Martuccello et al., 2009, Paradiso et al., 20016, Pérez-Gil 2016, Shaapan, 2016, Maherchandani 2018, Saini 2019, Ciuca et al., 2020) y no infecciosos (Kumar et al., 2015) asociados con abortos en vacas también los están en búfalas; sin embargo, existen pocos reportes sobre las consecuencias reproductivas distintas al aborto, de estos agentes. La Diarrea Viral Bovina ha sido reportada por tener una incidencia de 61.60% en búfalas con problemas reproductivos, mientras que en las búfalas sin problemas solo fue del 8%, sin embargo la incidencia de esta enfermedad varió según la patología reproductiva: 62.86% en búfalas con inactividad ovárica; 51.85% en búfalas con endometritis; 60% en búfalas con pubertad retrasada; 58.33% en búfalas con repetición de servicios; 62.50% en búfalas con retención de membranas fetales y 66.67% en búfalas que abortaron (Ahmed y Zaher 2008). La Leptospirosis y la Neosporosis están asociadas con repetición de servicios (Ijaz et al., 2020), mientras que esta última se ha asociado adicionalmente con pérdidas tempranas y retención de membranas fetales, además de abortos (Ciuca et al., 2020, Kumar et al., 2015, Ijaz et al., 2020, Roncoroni et

al., 2007). Las búfalas de agua infectadas con *Toxoplasma gondii* tuvieron un intervalo parto concepción más largo, mientras que la coinfección con *Neospora caninum* y *Toxoplasma gondii* se asoció con mortalidad embrionaria y aborto (Ciuca et al., 2020).

Algunas enfermedades tradicionalmente no reproductivas afectan el desempeño reproductivo de las búfalas de agua. La mastitis clínica antes del primer servicio aumentó el intervalo a la concepción (148.79 ± 12.66 vs 76.1 ± 2.89 días), siendo el retraso mayor aun cuando la mastitis ocurrió entre el primer servicio y el diagnóstico de preñez (232.47 ± 17.96 días, $P < 0.05$) (Manimaran et al., 2014). Más recientemente, se ha observado que tanto la mastitis clínica como la subclínica afectan la función folicular, reducen la producción de estradiol y la tasa de concepción, llegando a ser de solo 18.18% en el caso de las búfalas con mastitis clínica (Mansour et al., 2017). Las tasas de concepción a los 25 y 45 días postinseminación fueron menores en búfalas con mastitis clínica (28% y 16% respectivamente) o subclínica (55.56% y 44.45% respectivamente) en comparación con búfalas sin mastitis (69.57% y 60.87% respectivamente, $P < 0.05$). Además, el mayor impacto negativo de la mastitis se dio cuando esta ocurrió entre 15 días antes y 30 días después de la inseminación, y esto podría ser consecuencia de la reducción en el diámetro del cuerpo lúteo y de la producción de progesterona (Mansour et al., 2016).

Las parasitosis gastrointestinales por coccidias y nematodos redujeron la tasa de preñez en búfalas tratadas con PGF2 α o con una mezcla de vitaminas y minerales ($P < 0.05$) (Devkota et al., 2103). Búfalas con inactividad ovárica tuvieron una mayor prevalencia de *Fasciola hepatica* detectada mediante examen fecal y ELISA (28.9% y 38.9% respectivamente) que las búfalas cíclicas (4.7% y 6% respectivamente). Las búfalas con fasciolosis tuvieron niveles más altos de progesterona durante la fase folicular del ciclo estral y diferentes alteraciones hematológicas, así como menor capacidad antioxidante y menores niveles séricos de cobre, hierro y selenio (El-Khadrawy, et al., 2008). Adicionalmente, la infestación por *Haematopinus tuberculatus* (pediculosis) provocó un alargamiento del intervalo parto concepción (Bifulco et al., 2015) y en búfalas con pediculosis la inactividad ovárica fue del 50.25%, mientras que, en animales cíclicos con pediculosis, la progesterona fue menor (1.63 ± 0.27 vs 2.89 ± 0.17 , $P < 0.01$). Esto puede estar relacionado con el hecho de que las búfalas con pediculosis tenían menor condición corporal, mayor estrés oxidativo, anemia, linfopenia, eosinofilia, neutrofilia y monocitosis, así como niveles más bajos de zinc, hierro y selenio (Ahmed et al., 2009).

Para disminuir el impacto negativo de las enfermedades, es necesario el establecimiento de un programa de medicina preventiva que reduzca la incidencia de las diferentes enfermedades bacterianas y virales, y de aquellas que tradicionalmente no se han considerado por afectar el desempeño reproductivo de las búfalas como son la mastitis,

los hemoparásitos, ectoparásitos y parásitos gastrointestinales. Por ejemplo, el tratamiento de la pediculosis con alfacipermetrina, especialmente durante la lactancia temprana, mejoró la producción de leche, la condición corporal y acortó los intervalos parto concepción y entre partos (Bifulco et al., 2015). De igual manera, un programa para la prevención y control de la mastitis, especialmente en búfalas de alta producción las cuales tienen mayor riesgo de sufrir mastitis (Lakshmi Kavitha et al., 2008), facilitaría la consecución de las metas reproductivas.

CONCLUSIONES: LA GERENCIA, EL FACTOR CLAVE

Como hemos detallado en las secciones anteriores, lograr la meta reproductiva de un intervalo parto concepción de 90 días en la mayoría de las búfalas puede ser un reto dada la variedad de factores que afectan el desempeño reproductivo (la reproducción es una consecuencia). Incluso podemos tener situaciones extremas en las que varios factores actúan de forma concomitante; así una búfala, puede ser primípara, pudo haber parido en fotoperiodo largo y parir un macho, ser de alta producción, sufrir mastitis u alguna otra enfermedad, no tener una buena alimentación y perder mucha condición corporal postparto. Esta situación coloca a esta hembra en alto riesgo de fracaso reproductivo, y si bien en algunas unidades de producción las primíparas no conforman la mayor proporción del

rebaño, en aquellas de reciente fundación pueden llegar a ser el 100% de las búfalas en producción. Ahora, ¿cómo evitar esta situación?. En una buena gerencia está la clave.

Una buena gerencia debe garantizar en primer lugar el establecimiento de metas en el sistema, y el cumplimiento de los planes en los diferentes procesos que tienen lugar en el sistema ganadero, para garantizar la consecución de esas metas (intervalo parto concepción máximo de 90 días y una tasa de preñez de un 90% al finalizar la temporada reproductiva). Esto debe incluir la gestión adecuada del plan alimenticio, sanitario, de bienestar, reproductivo y genético, sin pasar por alto la obligatoria necesidad de contar con el asesoramiento de profesionales y la necesidad de que el equipo gerencial adquiera los conocimientos necesarios para conocer y evaluar el sistema, identificar, solventar y prevenir problemas, no solo reproductivos, sino de otra índole como los económicos. De la calidad de la gerencia dependerá en buena medida que tan negativo será el impacto de los diferentes factores sobre el desempeño reproductivo de las búfalas.

Existe poca información sobre cómo se llevan a cabo algunas de las funciones gerenciales en ganadería bufalina. Por ejemplo, en Colombia se ha reportado sobre una muestra de 322 productores que el 76% identifica a sus animales, mientras que el 71% registra algún tipo de información técnica, pero solo un 12% conoce los parámetros técnicos de sus unidades de producción y solo el 18% recibe asistencia técnica,

la cual se concentra principalmente en el área de reproducción, siendo poca la dedicada a la alimentación y pastos (Sánchez et al., 2016). En México, Romero Salas y Pérez de León (2014), señalan que en los rebaños bufalinos el manejo zoonosanitario es deficiente y no se llevan registros adecuados; y más recientemente en un estudio realizado en el sur de Veracruz se observó que, si bien los productores consideran a la ganadería bufalina como un negocio rentable, tienen deficiencias importantes en el manejo sanitario, alimenticio, reproductivo y de comercialización que limitan la productividad de los rebaños (Hernández-Herrera et al., 2018). En Venezuela, no tenemos datos precisos para la especie, sin embargo, en ganadería vacuna se ha reportado que solo un 53.3% de las unidades de producción identifica a sus animales, solo 33.8% lleva registros y solo 17% pesa la leche (Kowalski, 2016). Si bien estos reportes son escasos, y no son representativos de la producción bufalina en el continente Americano, nos dejan ver la necesidad de mejora en el manejo general de los rebaños, y en el caso específico de lo concerniente a la reproducción, la identificación y los registros son de vital importancia para el diagnóstico y control de las fallas reproductivas, no solo registrar fechas de partos y secados, que parece ser lo más común, se deben registrar los celos/servicios/abortos a fin de que el análisis de la eficiencia reproductiva sea más preciso. Es necesario determinar mucho más que el intervalo entre partos, el cual no permite evaluar la eficiencia reproductiva actual de un rebaño, pues es un parámetro histórico (González-Stagnaro 2001), y por tanto se hace necesario

aumentar la información recabada de cada búfala para identificar con rapidez a las hembras con riesgo de fracaso reproductivo, a fin de implementar las acciones que garanticen que la mayoría de las búfalas estén preñadas para los 90 días postparto.

REFERENCIAS

- Abdalla, E.B., 2003. Improving the reproductive performance of Egyptian buffalo cows by changing the management system. *Anim. Reprod. Sci.* 75, 1-8. doi: 10.1016/S0378-4320(02)-00225-7.
- Ahmed, W.M., El Khadrawy, H.H., Hanafi, E.M., El Hameed, A.R.A., Sabra, H.A., 2009. Effect of copper deficiency on ovarian activity in Egyptian buffalo-cows. *World J. Zoology* 4(1), 01-08.
- Ahmed, E.A., Elsayed, D.H., Kilani, O.E., El-Beltagy, M.A., 2017. Multivitamins preventive therapy against subclinical endometritis in buffaloes: Its correlation to NEFA and oxidative stress. *Reprod. Biol.* 17(3), 239-245 <http://dx.doi.org/10.1016/j.repbio.2017.05.008>.
- Ahmed, S., Khan, M.I.R., Ahmad, M., Iqbal, S., 2018. Effect of age on lipid peroxidation of fresh and frozen-thawed semen of Nili-Ravi buffalo bulls. *Italian J. Anim. Sci.* 17(3), 730-735.
- Ahmed, W.M., Zaher, K.S., 2008. A field contribution of the relation between reproductive disorders and bovine viral diarrhea virus infection in buffalo-cows. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 3(5), 736-742.

- Ahmed, W.M., Habeeb, S.M., El Moghazy, F.M., Hanafi, E.M., 2009. Observation on pediculosis in buffalo-cows with emphasis on its impact on ovarian activity and control by herbal remedies. *WASJ* 6(8), 1128-1138.
- Akhtar, M.S., Asim Farooq, A., Akbar Lodhi, A., Muhammad, S.A., Mazhar Ayaz, M., Lashari, M.H., Murtaza, S., Hussain, S., Irshad, M., Hussain, M., Asif Raza, M., 2014. Studies on serum macro and micro minerals status in repeat breeder and normal cyclic Nili-Ravi buffaloes and their treatment strategies. *African Journal of Biotechnology* 13(10), 1143-1146.
- Akhtar, M.S., Irum, S., Lashari, M.H., Ahmad, E., Ahmad, T., Ayaz, M.M., Lodhi, L.A., Ahmad, I., Akhtar, M., 2018. Bio-stimulatory effect of bull on post-partum estrus interval in Nili-Ravi buffaloes. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.* 24(4), 603-606 DOI: 10.9775/kvfd.2018.19435.
- Almeida, J., Brito, M., Neves, B., Becerra, V., Auler, P., Baruselli, P., Henry, M., 2020. Evaluation of pregnancy rates in milk buffaloes submitted to FTAI with ovsynch or P4/E2 and eCG based protocols with refrigerated or frozen semen during favorable or unfavorable breeding season. *Animal Reproduction* 17(3):7.
- Amjad, M.A., Lodhi, L.A., Awais, M.M., Hassan, F.U., Ahmad, W., 2016. Effect of birth weight and sex of the calf on incidence of

- calving disorders in buffaloes in Punjab province, Pakistan (a case study). *Sci. Int. (Lahore)* 28(3), 3179-3182.
- Ayaz, U., Arif, M., Anwar, I., Yasin, A., Raza, M., 2019. Effect of Vitamin E and Selenium Administration on Prepartum and Postpartum Performance of Nili Ravi Buffaloes. En: 12th World Buffalo Congress Book of Abstract, pp 54. <https://wbc2019.meetinghand.com/projectData/730/webData/WBC-2019-Bookff.pdf>
- Balestrieri, M.L., Gasparrini, B., Neglia, G., Vecchio, D., Strazzullo, M., Giovane, A., Servillo, L., Zicarelli, L., D'Occhio, M.J., Campanile, G., 2013. Proteomic profiles of the embryonic chorioamnion and uterine caruncles in buffaloes (*Bubalus bubalis*) with normal and retarded embryonic development. *Biol. Reprod.* 88(5), 119. doi: 10.1095/biolreprod.113.108696.
- Barile, V.L., 2005. Improving reproductive efficiency in female buffaloes. *Liv. Prod. Sci.* 92(3), 183-194. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.06.014>
- Bifulco, G., Veneziano, V., Cimmino, R., Esposito, L., Auletta, L., Varricchio, E., Balestrieri, A., Claps, S., Campanile, G., Neglia, G., 2015. Effect of pour-on alphacypermethrin on feed intake, body condition score, milk yield, pregnancy rates, and calving-to-conception interval in buffaloes. *J. Anim. Sci.* 93(4), 1850-1858. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8352>

- Borghese, A., Barile, V.L., Terzano, G.M., Pilla, A.M., Parmeggiani, A., 1995. Melatonin trend during season in heifers and buffalo cows. *Bubalus Bubalis* 1, 61-65
- Campanile, G., Neglia, G., Gasparrini, B., Galiero, G., Prandi, A., Di Palo, R., Michael, J.D., Zicarelli, L., 2005. Embryonic mortality in buffaloes synchronized and mated by AI during the seasonal decline in reproductive function. *Theriogenology* 63(8), 2334-2340. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.10.012>.
- Campanile, G., Neglia, G., Di Palo, R., Gasparrini, B., Pacelli, C., D'Occhio, M.J., Zicarelli, L., 2006. Relationship of body condition score and blood urea and ammonia to pregnancy in Italian Mediterranean buffaloes. *Reprod. Nutr. Dev.* 46, 57-62.
- Ciuca, L., Borriello, G., Bosco, A., D'Andea, L., Gringoli, G., Ciaramella, P., Maurelli, M.P., Di Loria, A., Rinaldi, L., Guccioni, J., 2020. Seroprevalence and clinical outcomes of *Neospora caninum*, *Toxoplasma gondii* and *Besnoitia besnoiti* infections in water buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Animals* 10(3), 532. <https://doi.org/10.3390/ani10030532>
- Dash, S., Chakravarty, A.K., Sah, V., Jamuna, V., Behera, R., Kashyap, N., Deshmukh, B., 2015. Influence of temperature and humidity on pregnancy rate of Murrah buffaloes under subtropical climate. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 28(7), 943-950. doi:10.5713/ajas.14.0825.
- Dash, S., Chakravarty, A.K., Singh, A., Upadhyay, A., Singh, M., Yousuf, S., 2016. Effect of heat stress on reproductive performances

- of dairy cattle and buffaloes: A Review. *Veterinary World* 9(3), 235-244.
- Devkota, B., Nakao, T., Kobayashi, K., Sato, H., Sah, S.K., Singh, D.K., Dhakal, I.P., Yamagishi, N., 2013. Effects of treatment for anestrus in water buffaloes with PGF2 α and GnRH in comparison with vitamin-mineral supplement, and some factors influencing treatment effects. *J. Vet. Med. Sci.* 75(12), 1623–1627. DOI: 10.1292/jvms.12-0515
- Dhami, A.J., Thavani, K.L., Patel, J.A., Sarvaiya, N.P., 2012. Post-abortion and post-partum serum progesterone profile and breeding efficiency in buffaloes retaining fetal membranes. *Buffalo Bulletin* 31(4), 189-192.
- Dharap, A., 2016. Effect of season on pregnancy rates, milk progesterone, and milk melatonin profiles in water buffalo reared in Canada. Master Thesis. The University of Guelph. Guelph, Ontario, Canada.; 94 pp.
- Di Francesco, S., Neglia, G., Vecchio, D., Rossi, P., Russo, M., Zicarelli, L., D'Occhio, M.J., Campanile, G., 2012. Influence of season on corpus luteum structure and function and AI outcome in the Italian Mediterranean buffalo (*Bubalus bubalis*). *Theriogenology* 78, 1839-1845. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.07.022>
- El-Fouly, M.A., Kotby, E.A., El-Sobhy, A.E., 1976. Postpartum ovarian activity in suckled and milked buffaloes. *Theriogenology* 5, 69-79. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(76\)90170-9](https://doi.org/10.1016/0093-691X(76)90170-9)

- El-Khadrawy, H.H., El Moghazy, F.M., El Aziz, M.M.A., Ahmed, W.M., 2008. Field investigation on the correlation between ovarian activity and fascioliosis in buffalo-cows. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 3(4), 539-546.
- El-Naby, A.A.H.H., Mahmoud, K.G.H.M., Ahmed, Y.F., Abouel-Roos, M.E.A., Abdel-Ghaffar, A.E., 2013. Effect of season of the year and ovarian structures on oocytes recovery rate, quality and meiotic competence in Egyptian buffaloes. *Global Veterinaria* 10(4), 408-412. DOI: 10.5829/idosi.gv.2013.10.4.7281
- El-Tarabany, M.S., 2018. Survival analysis and seasonal patterns of pregnancy outcomes in Egyptian buffaloes. *Livest. Sci.* 213, 61-66 doi 10.1016/j.livsci.2018.05.008.
- Ezzo, O.H., 1995. The effects of vitamins and Se supplementation on serum vitamin level and some reproductive patterns in Egyptian buffaloes during pre and postpartum periods. *Buffalo Journal* 11, 103-107.
- Fagiolo, A., Roncoroni, C., Lai, O., Borghese, A. 2005. Buffalo pathologies. In: Antonio Borghese, editor. *Buffalo Production and Research*, p. 249-296.
- Galiero. G., 2007. Causes of infectious abortion in the Mediterranean buffalo. *Italian J. Anim. Sci.* 6(Suppl 2), 194-199, DOI: 10.4081/ijas.2007.s2.194
- Garb, A.A.W., El Basuini, M.F., 2018. Effect of tonophosphan, zinc oxide, and ascorbic acid on semen, sexual desire, and the

- fertility rate of Egyptian buffalo bulls. *Annals Agric. Sci.* 63, 215–221.
- Garcia, A.R., Santos, A.X., Nahúm, B.S., Silva, L.K.X., Lourenço Junior. J.B., Joele, M.R.S.P., 2012. Correlations between consumption, corporal and seminal features of water buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Anim. Reprod.* 9(4), 1028.
- Gasparrini, B., 2019. Effect of reproductive season on embryo development in the buffalo. *Reprod. Fert. Dev.* 31, 68-81. <https://doi.org/10.1071/RD18315>
- Ghuman, S.P., Singh, J., Honparkhe, M., Dadarwal, D., Dhaliwal, G. S., Jain, A.K., 2010. Induction of ovulation of ovulatory size non-ovulatory follicles and initiation of ovarian cyclicity in summer anoestrous buffalo heifers (*Bubalus bubalis*) using melatonin implants. *Reproduction in domestic animals = Zuchthygiene*, 45(4), 600–607. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2008.01310.x>
- Gokuldas, P.P., Yadav, M.C., Kumar, H., Singh, G., Mahmood, S., Tomar, A.K., 2010. Resumption of ovarian cyclicity and fertility response in bull-exposed postpartum buffaloes. *Anim. Reprod. Sci.* 121(3-4), 236-41. doi:10.1016/j.anireprosci.2010.06.005.
- González-Stagnaro, C., 2001. Parámetros, cálculos e índices aplicados en la evaluación de la eficiencia reproductiva. In: González-Stagnaro C, editor. *Reproducción Bovina*. Venezuela: Astrodata; p. 203-247.

- Hafez, M.H., 2019. Serum hormonal, metabolic and minerals profile in normal cyclic and postpartum anestrus Egyptian buffaloes. *AJVS* 60(2), 102-108. DOI: 10.5455/ajvs.27345
- Hassan, F.A.M., Ali, M.A., El-Tarabany, M.S., 2017. Economic impacts of calving season and parity on reproduction and production traits of buffaloes in the sub-tropics. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 10258-10266 DOI 10.1007/s11356-017-8686-1.
- Henry, M., Brito, M.F., Neves, B.P., Auler, P.A., Almeida, J., Andrade, G.O., Becerra, V.B., Bergmann, L., 2017. Peculiarities of the buffalo species for andrological evaluation – results of four years of study and weekly semen collection schedule. *Anim. Reprod.* 14(Suppl.1), 1225-1233. DOI: 10.21451/1984-3143-AR0005
- Hernández-Herrera, G., Lara-Rodríguez, D.A., Vázquez-Luna, D., Ácar-Martínez, N., Fernández-Figueroa, J.A., Velásquez-Silvestre, M.G., 2018. Búfalo de agua (*Bubalus bubalis*): un acercamiento al manejo sustentable en el sur de Veracruz, México. *Agroproductividad* 11(10), 27-32. DOI: 10.32854/agrop.v11i10.1240
- Ijaz, M., Ghaffar, A., Ali, A., Farooqi, S.H., Khan, Y.R., Aqib, A.I., 2020. Seroprevalence of leptospirosis and its association with reproductive and productive parameters from buffalo population of Rajanpur and Muzaffargarh districts of Pakistan. *J. Anim. Plant Sci.* 30(1), 58-64.

- Jan, M.H., Kumar, H., Sharma, R.K., Kumar, S., Gupta, A., 2019. Prevalence, risk factors and impact of subclinical endometritis on reproductive performance of Nili-Ravi buffalo. *J. Anim. Res.* 9(2), 351-357.
- Khan, H.M., Mohanty, T.K., Raina, V.S., Gupta, A.K., Bhakat, M., 2009. Effect of peripartum disorders on reproduction performance traits in Murrah buffaloes at an organized farm. *Buffalo Bulletin* 28(4), 176-211.
- Khan, S., Qureshi, M.S., Chand, N., Sultan, A., Khan, R.I., Ihsanullah, Tanweer, A.J., Sohail, S.M., Hussain, M., Akhtar, A., Khan, D., 2012. Effect of breeding method on calf sex and postpartum reproductive performance of cattle and buffaloes. *Sarhad J. Agric.* 28(3), 469-476.
- Kantharaja, K.J., Tomar, A.K.S., Nataraju, O.R., Naveen Kumar, B.T., 2018. Effects of weaning and sex of calf on postpartum resumption of reproduction in mother buffaloes. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 7(05), 734-737. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.088>
- Kumar, V., 2015. Factors affecting performance of Indian Murrah buffalo: A Review. *J. Buffalo Sci.* 4: 21-27.
- Kumar, A., Mehrotra, S., Singh, G., Narayanan, K., Das, G.K., Soni, Y.K., Singh, M., Mahla, A.S., Srivastava, N., 2015. Sustained delivery of exogenous melatonin influences biomarkers of oxidative stress and total antioxidant capacity in summer stressed

anoestrous water buffalo (*Bubalus bubalis*). *Theriogenology*
doi: 10.1016/j.theriogenology.2014.12.023

Kumar, S., Srivastava, S., 2017. Testicular biometry and its correlation with body weight and semen output in Murrah bull. *Buffalo Bulletin* 36(1), 105-113.

Kumar, T.V.C., Sharma, D., Naidu Surla, G., Veerapa Vedamurthy, G., Singh, D., Kumar Onteru, S., 2020. Body condition score, parity, shelter cleanliness and male proximity: highly associated non-genetic factors with post-partum anestrus in Murrah buffalo in field conditions. *Anim. Reprod. Sci.* doi: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106282>.

Lasksmi Kavitha, K., Rajesh, K, Satheesh, S.K.K., Syama Sundar, N., 2009. Buffalo mastitis - risk factors. *Buffalo Bulletin* 28(3),135-137.

Kowalski, A., 2016. Programa integral de desarrollo lechero nacional (PIDEL) MAT. En: XIII Reunión de la Comisión de Desarrollo Ganadero para América Latina y el Caribe (CODEGALAC). Capítulo Cono Sur y Andino. Santa Cruz, Bolivia, 11-13 de mayo de 2016.

Maherchandani, S., Kumar, A., Kashyap, S.K., 2018. Infectious causes of bufaline abortion. In: *Bubaline Theriogenology*, Purohit G.N. (Ed.). International Veterinary Information Service, Ithaca NY. A5711.0715.

- Manimaran, A., Kumaresan, A., Sreela, L., Boopathi, V., Arul Prakash, M., 2014. Effects of clinical mastitis on days open in dairy cattle and buffaloes. *Indian Vet. J.* 91(12), 67-8.
- Mansour, M.M., Zeitoun, M.M., Hussein, F.M., 2017. Mastitis outcomes on pre-ovulatory follicle diameter, estradiol concentrations, subsequent luteal profiles and conception rate in Buffaloes. *Anim. Reprod. Sci.* 181, 159-166 <http://dx.doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.04.004>.
- Mansour, M.M., Hendawy, A.O., Zeitoun, M.M., 2016. Effect of mastitis on luteal function and pregnancy rates in buffaloes. *Theriogenology* 86(5), 1189-94. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.009>
- Mansour, M.M., Zeitoun, M.M., 2019. The relationship between blood cytokines concentrations and fertility aspects during natural mastitis in buffaloes. *Journal of Agricultural and Veterinary Sciences Qassim University* 12(1), 147-163.
- Martuccello, A., di Mia, G.M., Giammarioli, M., De Donato, I., Iovane, G., Galiero, G., 2009. Detection of Bovine viral diarrhoea virus from three water buffalo fetuses (*Bubalus bubalis*) in southern Italy. *J. Vet. Diagn. Invest.* 21, 137-140. DOI: 10.1177/104063870902100123
- Mirmahmoudi, R., Prakash, B.S., 2012. The endocrine changes, the timing of ovulation and the efficacy of the Doublesynch protocol in the Murrah buffalo (*Bubalus bubalis*). *General and Comparative Endocrinology* 177(1), 153-159.

- Mondal, S., Prakash, B.S., Palta, P., 2007. Endocrine aspects of oestrous cycle in buffaloes (*Bubalus bubalis*): an overview. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 20(1), 124-131.
- Montiel Urdaneta, N.S., 2006. Algunos aspectos reproductivos e inseminación artificial en búfalas. En: *Proceedings X Seminario de Pastos y Forrajes*. Maracaibo, Venezuela; p. 174-186.
- Mustafa, M.Y., Saleem, K., Munir, R., Butt, T.M., 2008. Effect of oxytocin on the productive and reproductive performance of buffalo and cattle in Sheikhpura-Pakistan (A field study). *Livest. Res. Rural Dev.* 20(12), 193. <http://www.lrrd.org/lrrd20/12/must20193.htm>
- Napolitano, F., Pacelli, C., Grasso, F., Braghieri, A., De Rosa, G., 2013. The behaviour and welfare of buffaloes (*Bubalus bubalis*) in modern dairy enterprises. *Animal* 7(10), 1704-1713.
- Naqvi, A.N., 2000. Effect of parity and season of calving on service period in Nili Ravi buffalo in Pakistan. *Asian-Australas. J. Anim. Sci* 13, 287-291.
- Nasr, M.A.F., 2016. The impact of cross-breeding Egyptian and Italian buffalo on reproductive and productive performance under a subtropical environment. *Reprod. Dom. Anim.* 52(2), 1–7 DOI: 10.1111/rda.12881.
- Nasr, M.A.F., 2017a. The potential effect of temperature-humidity index on productive and reproductive performance of buffaloes with different genotypes under hot conditions.

Environ Sci Pollut Res 24, 18073-18082 DOI 10.1007/s11356-017-9450-2

Nasr, M.A.F., 2017b. The effect of stillbirth on reproductive and productive performance of pure Egyptian buffaloes and their crosses with Italian buffaloes. *Theriogenology* 103, 9-16 doi: 10.1016/j.theriogenology.2017.07.035.

Nava-Trujillo, H., Valeris-Chacin, R., Morgado-Osorio, A., Valero-Guerra, J., 2019a. Effect of parity and season of calving on the postpartum reproductive activity of water buffalo cows. *Zhivotnovadni Nauki (Bulgarian Journal of Animal Husbandry)*. 56(4), 3-12.

Nava-Trujillo, H., Valeris-Chacin, R., Hernandez, J., Duran Nuñez, M., Morgado-Osorio, A., Caamaño, J., Quintero-Moreno, A., 2019b. Effect of season and parity on water buffalo calving distribution throughout the year in Venezuela. *Rev Acad Ciênc Anim* 17, e17013. DOI 10.7213/1981-4178.2019.17013.

Nava-Trujillo, H., Valeris-Chacin, R., Quintero-Moreno, A., Escalona-Muñoz, J., 2020. Milk yield at first lactation, parity, and season of calving affect the reproductive performance of water buffalo cows. *Anim. Prod. Sci.* 60(8), 1073-1080. <https://doi.org/10.1071/AN18420>

Neglia, G., Vecchio, D., Di Palo, R., Pacelli, C., Comin, C., Gasparrini, B., Campanile, G., 2012. Efficacy of PGF2 α on pre-ovulatory follicle and corpus luteum blood flow. *Reprod. Dom. Anim.* 47, 26-31. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2011.01794.x>

- Orihuela, A.; Mota-Rojas, D.; Napolitano, F., 2020. Weaning strategies to improve productivity and animal welfare in zebu (*Bos indicus*) and river buffaloes (*Bubalus bubalis*). J. Anim. Behav. Biometeorol. 8,257-265.
- Panda, N., Kaur, H., Mohanty, T.K., 2006. Reproductive performance of dairy buffaloes supplemented with varying levels of vitamin E. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 19, 19-25.
- Paradiso, R., Riccardi, M.G., Lucibelli, M.G., Cerrone, A., Amelio, T., Del Piano, F., De Carlo, E., Galiero, G., Borriello, G., 2016. Novel approaches for diagnosis of bacterial agents responsible for abortion in water buffalo through metagenomic analysis. Memories 11th WORLD BUFFALO CONGRESS 2016, Colombia 23-26 November 2016. In: CES Medicina Veterinaria y Zootecnia. Septiembre-Diciembre: 224.
- Perea-Ganchou, F., Soto-Belloso, E., 2008. Uso del destete temporal para mejorar la eficiencia reproductiva en rebaños doble propósito. En: González-Stagnaro, C. y Soto Belloso, E, editors. Desarrollo Sostenible De La Ganadería De Doble Propósito. Venezuela: Fundación Grupo de Investigadores de la Reproducción Animal en la Región Zuliana. p 570-584.
- Pérez-Gil, R. 2016. Identificación molecular de *Leptospira spp.* patógenas en cultivos provenientes de fetos bovinos abortados. Memories 11th World Buffalo Congress 2016, Colombia 23-26 November, 2016. In: CES Medicina Veterinaria y Zootecnia. Septiembre-Diciembre: 229.

- Perumal, P., Srivastava, N., Srivastava, S.K., Chamuah, J.K., Veeraselvam, M., 2012. Hereditary and congenital causes of infertility in buffalo (*Bubalus Bubalis*) bulls. *IJBMS* 3(4), 472-480.
- Perumal, P., Kumar, T.K., Srivastava, S.K., 2013. Infectious causes of infertility in buffalo bull (*Bubalus bubalis*). *Buffalo Bulletin* 32(2), 71-96. DOI: 10.14456/ku-bufbu.2013.12
- Perumal, P., Purohit, G.N., Balamurugan, T.C., Prakash Krupakaran, R., Veeraselvam, M., 2016. Infertility in buffalo bulls. In: *Bubaline Theriogenology*, Purohit G.N. (Ed.). International Veterinary Information Service, Ithaca NY. A5728.0816, <https://www.ivis.org/advances/purohit/chap28/chapter.asp?LA=1>
- Roncoroni, C., Barile, V.L., Allegrini, S., Grifoni, G., Pettirossi, N., Fagiolo, A., 2007. Serological survey and reproductive performances in buffaloes under fixed time artificial insemination. *Italian J. Anim. Sci.* 6(Suppl 2), 828-831 DOI: 10.4081/ijas.2007.s2.828.
- Qayyum, A., Arshad, U., Yousuf, M.R., Ahmad, N., 2018. Effect of breeding method and season on pregnancy rate and embryonic and fetal losses in lactating Nili-Ravi buffaloes. *Trop. Anim. Health Prod.* 50, 555-560. doi.org/10.1007/s11250-017-1468-4.
- Qureshi, M.S., Ahmad, N., 2008. Interaction of calf suckling, use of oxytocin and milk yield with reproductive performance of

- dairy buffaloes. Anim. Reprod. Sci. 106(3-4), 380-392.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2007.05.019>
- Qureshi, M.S., Habib, G., Samad, H.A., Siddiqui, M.M., Ahmad, N., Syed, M., 2002. Reproduction-nutrition relationship in dairy buffaloes. I. Effect of intake of protein, energy and blood metabolites levels. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 15, 330-339
- Rijasnaz, V.V., Mondal, S.K., Fahim, A., 2014. Effect of weaning on the postpartum reproductive performance of Murrah buffaloes. Indian J. Anim. Res. 48(5), 501-503. DOI: 10.5958/0976-0555.2014.00019.3
- Romero-Salas, D., Perez de León, A., 2014. Bubalinocultura en México: retos de industria pecuaria naciente. En: Logros & Desafíos de la Ganadería Doble Propósito. Fundación GIRARZ. Ediciones Astro Data S.A, Maracaibo, Venezuela Editors: C González-Stagnaro, N Madrid-Bury; 707-715.
- Rossi, P., Vecchio, D., Neglia, G., Di Palo, R., Gasparrini, B., D'Occhio, R., Campanile, G., 2014. Seasonal fluctuations in the response of Italian Mediterranean buffaloes to synchronization of ovulation and timed artificial insemination. Theriogenology 82(1), 132-137.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.03.005>
- Roy, A.K., Singh, M., Kumar, P., Bharath, Kumar, B.S., 2007. Effect of extended photoperiod during winter on growth and onset of puberty in Murrah buffalo heifers. Vet. World 9(2), 216-221.
doi: [10.14202/vetworld.2016.216-221](https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.216-221)

- Russo, M., Vecchio, D., Neglia, G., Pacelli, C., Prandi, A., Gasparrini, B., Zicarelli, L., D'Occhio, M.J., Campanile, G., 2010. Corpus luteum function and pregnancy outcome in buffaloes during the transition period from breeding to non-breeding season. *Reprod. Dom. Anim.* 45, 988-991. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2009.01472.x>
- Saini, P., Singh, M., Kumar, P., 2019. Fungal endometritis in bovines. *Open Vet. J.* 9(1), 94-98. doi: 10.4314/ovj.v9i1.16.
- Saliba, W.P., Gimenes, L.U., Drumond, R.M., Bayão, H.X.S., Di Palo, R., Gasparrini, B., Rubessa, M., Baruselli, P.S., Sales, J.N.S., Bastianetto, E., Leite, R.C., Alvim, M.T.T., 2020. Which Factors Affect Pregnancy Until Calving and Pregnancy Loss in Buffalo Recipients of in vitro Produced Embryos?" *Front. Vet. Sci.* 7, 577775. doi: 10.3389/fvets.2020.577775
- Salzano, A., Spagnuolo, M.S., Lombardi, P., Vecchio, D., Limone, A., Censi, S.B., Balestrieri, A., Pelagalli, A., Neglia, G., 2017. Influences of different space allowance on reproductive performances in buffalo. *Anim. Reprod.* 14(2), 429-436. <http://dx.doi.org/10.21451/1984-3143-AR799>
- Sanchez, A., 2016. La gestion empresarial en la actividad bufalina de Colombia. Memories 11th WORLD BUFFALO CONGRESS 2016, Colombia 23-26 November, 2016. In: CES Medicina Veterinaria y Zootecnia. Septiembre-Diciembre: 1-17.
- Santos, A.X., Kahwage, P.R., Faturi, C., Laurenço Junior, J., Medina Álvarez. W.F., Garcia, R.A., 2017. Efecto de la suplementación

alimenticia con fuentes lipídicas sobre la ganancia de peso y niveles de testosterona sérica en toros bufalinos. *J. Vet. Andrology* 2(2), 52-59.

Saraswat, C.S., Purohit, G.N., 2016. Repeat breeding: Incidence, risk factors and diagnosis in buffaloes. *Asian Pac. J. Reprod.* 5(2), 87–95. DOI 10.1016/j.apjr.2016.01.001.

Shaapan, R.M., 2016. The common zoonotic protozoal diseases causing abortion. *J. Parasit. Dis.* 40(4), 1116-1129. DOI 10.1007/s12639-015-0661-5.

Singh, A.K., Brar, P.S., Nanda, A.S., Prakash, B.S., 2006. Effect of suckling on basal and GnRH-induced LH release in post-partum dairy buffaloes. *Anim. Reprod. Sci.* 95(3-4), 244-50. doi: 10.1016/j.anireprosci.2005.10.004. Epub 2005 Dec 15. PMID: 16343826.

Singh, P.K., Kamboj, M.L., Kumar, N., 2016. Effect of dummy calf, weaning and suckling on the reproductive performance of post-partum Murrah buffaloes. *Indian J. Anim. Res.* 50(2), 265-267. DOI: 10.18805/ijar.9298

Swelum, A.A.Z., Saadeldin, I.M., Zaher, H.A., Alsharifi, S.A.M., Alowaimer, A.N., 2017. Effect of sexual excitation on testosterone and nitric oxide levels of water buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) with different categories of sexual behavior and their correlation with each other. *Anim. Reprod. Sci.* 181, 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.04.003>

- Thu, L.T., My, L.R., Lan, P.D., Lang, P.S., Phuc, D.V., Doanhi, P.Q., 1998. Epidemiological survey on *Trypanosoma evansi* infection in Vietnam. *J. Protozool. Res.* 8, 177-181.
- Viana, R.B., Monteiro, M.B., Cardoso Da Cruz, E., Ribeiro Filho, J.D., Albuquerque, R.D.S., Albuquerque de Melo, P.M., Baruselli, P.S., 2019. Can mineral supplementation modify the characteristics of young buffalo ejaculate?. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina* 40(5), 2271-2286. DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n5Supl1p2271
- Yadav, K.S., Singh, P., Bhakat, M., Mohanty, K.T., Kumar, A., Singh, A., Mondal, S., Upadhyay, V.K., Tomar, S., 2018. Relationship of age, body condition score and rump fat thickness with semen quality in Murrah buffalo breeding bulls. *Int. J. Livest. Res.* 8(8), 110-120. doi: 10.5455/ijlr.2018011601554
- Younis, M., Samad, H.A., Ahmad, N., Ali, C.S., 1998. Effect of age and breeding season on the freezability of buffalo bull semen. *Pakistan Vet. J.* 18(4), 219-223.
- Younis, M., Samad, H.A., Ahmad, N., Ahmad, I. 2003. Effects of age and season on the body weight, scrotal circumference and libido of Nili-Ravi buffalo bulls maintained at the semen production unit, Qadirabad. *Pakistan Vet. J.* 23(2), 59-65.
- Zaidi, N.S., Anwar, M., 2018. Effect of biostimulation on estrus expression, resumption of ovarian activity and conception rate in postpartum anestrus Nili-Ravi buffaloes during low

breeding season. Pakistan Vet. J. 38(1), 35-38.
<http://dx.doi.org/10.29261/pakvetj/2018.007>.

Zicarelli, L., Esposito, L., Campanile, G., Di Palo, R., Armstrong, D.T., 1997. Effects of using vasectomized bulls in artificial insemination practice on the reproductive efficiency of Italian buffalo cows. Anim. Reprod. Sci. 47(3), 171-80.
[https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(97\)00008-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(97)00008-0)

Zicarelli. L., 2010. Enhancing reproductive performance in domestic dairy water buffalo (*Bubalus bubalis*). Soc Reprod Fertil Suppl 67, 443-455.

Zicarelli, L., 2017. Influence of seasonality on buffalo production. In: Precisse GA, editor. The Buffalo (*Bubalus bubalis*)-Production and Research. Sharjah, UAE: Bentham Science Publishers; p.196-224.

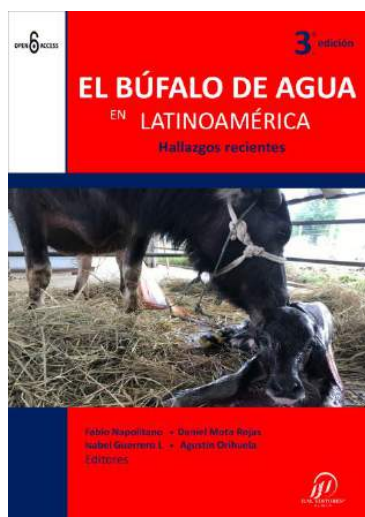
Zoheir, K.M.A., Abdoon, A.S., Mahrous, K.F., Amer, M.A., Zaher, M.M., Li-Guo, Y., El-Nahass, E.M., 2007. Effects of season on the quality and in vitro maturation rate of Egyptian Buffalo (*Bubalus bubalis*) oocytes. J. Cell Anim. Biology 1, 29-33.



CAPÍTULO 12

EL PARTO Y ORDEÑO DE LA BÚFALA: RESPUESTAS FISIOLÓGICAS Y CONDUCTUALES

Daniel Mota-Rojas, Agustín Orihuela, Fabio Napolitano, Danilda Hufana-Duran, Francesco Serrapica, Julio Martínez-Burnes, Gustavo Crudeli, Jesús Alfredo Berdugo, José Luis Konrad, Adriana Olmos-Hernández, Patricia Mora-Medina y Giuseppe De Rosa



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3^a. Edición

CAPÍTULO 12

El parto y ordeño de la búfala: respuestas fisiológicas y conductuales

Daniel Mota-Rojas¹, Agustín Orihuela², Fabio Napolitano³, Danilda Hufana-Duran⁴, Francesco Serrapica⁵, Julio Martínez-Burnes⁶, Gustavo Crudeli⁷, Jesús Alfredo Berdugo⁸, José Luis Konrad⁷, Adriana Olmos-Hernández⁹, Patricia Mora-Medina¹⁰ y Giuseppe De Rosa⁵

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México.

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

³Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

⁴Philippine Carabao Center Headquarters and National Gene Pool Science City of Muñoz, Nueva Ecija. Filipinas.

⁵Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici, Naples, Italia.

⁶Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México.

⁷Facultad de Ciencias Veterinarias (FCV) de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Argentina.

⁸Centro Latinoamericano para el Estudio del Búfalo de Agua (CLABU). Colombia.

⁹Neuroendocrinología. Instituto Nacional de Rehabilitación. "Luis Guillermo Ibarra Ibarra" (INRLGII), Secretaría de Salud (SSA), México.

¹⁰Departamento de Ciencias Pecuarias. Universidad Nacional Autónoma de México. FESC. México.

INTRODUCCIÓN

El éxito en los sistemas productivos se puede medir por el nacimiento de crías. Generalmente las búfalas de agua (*Bubalus bubalis*) paren al año un único ternero, y excepcionalmente nacen gemelos (De Rosa et al., 2009a). Se debe hacer énfasis en que durante la gestación suceden cambios anatómicos y fisiológicos en la hembra asociados al crecimiento del feto por 300 a 310 días aproximadamente (Punia y Singh, 2001). Al contrario, el parto es un evento donde ocurren cambios fisiológicos y morfológicos bruscos, severos y relativamente



rápidos (Mota-Rojas et al., 2008), con la presencia de un cierto grado de dolor dando origen a estrés y ansiedad (Pereira et al., 2011; Mota-Rojas, 2019a,b; Napolitano et al., 2018a,b; Napolitano et al., 2020a,b; Mota-Rojas et al., 2020a).

El parto eutócico (normal) a pesar de ser un evento fisiológico se considera estresante. En él se desencadenan una cascada de respuestas fisiológicas y hormonales, con cambios morfológicos y conductuales (Mota-Rojas et al., 2008; Titler et al., 2015; Napolitano et al., 2018a,b; González-Lozano et al., 2020; Mota-Rojas et al., 2020a). Cuando la expulsión del feto es distócica (anormal) un número mayor de estímulos se suman al estrés ya normal del parto (Sathya et al., 2007). Aunque este capítulo no tiene como objetivo abordar la distocia, cabe señalar que la complicación del parto en la búfala es poco frecuente (2%) en comparación con el ganado vacuno del género *Bos*. El estrés generado en este tipo de parto es una condición que afecta tanto el bienestar como la producción láctea (Purohit et al., 2011; Purohit et al., 2012; Mota-Rojas, 2019a,b) por ello es necesario conocer la dinámica del parto para diferenciar hasta donde es lo normal y hasta donde patológico.

Otro elemento fundamental que forma parte de la vida productiva de la búfala lechera es la eficiencia y eficacia del ordeño, ya que éste influye de manera decisiva en la productividad y estado de salud de la madre. En el caso del ordeño, es necesario resaltar que existen diversos factores que

influyen negativamente en el desempeño productivo de las búfalas como son: las malas prácticas de los trabajadores, quienes frecuentemente recurren a gritos, golpes, forcejeo o uso de instrumentos para movilizar al ganado; el comportamiento nervioso del propio animal, la presencia de lesiones en las extremidades y la ubre y la interacción con el ser humano. Un aspecto especialmente importante es considerar la técnica de ordeño, ya que en esta especie se ha observado un incremento en la aplicación del ordeño mecánico sobre el manual, a causa de la intensificación del sistema productivo que requiere una gran destreza y adaptación de los animales. Considerando la extraordinaria memoria de los animales, las experiencias previas negativas son de mucha importancia, así pues, una agradable rutina diaria, es fundamental para que la interacción humano-búfala sea positiva (Polikarpus et al., 2014a).

Debido a la intensificación del sistema de producción de leche de búfala, el ordeño automático es ahora parte de la rutina. Esto se ha tomado de los desarrollos obtenidos en vacunos, lo que usarlos en la búfala implica el ajuste de varios factores físicos y psicológicos para facilitar la bajada de la leche. Dentro de ellos, se debe evitar un vacío incorrecto en la máquina ordeñadora, o bien, un mantenimiento deficiente del equipo de ordeño, y por otro lado un comportamiento negativo del trabajador (Saltalamacchia et al., 2007). Durante el ordeño, las búfalas son más sensibles a los estímulos que las vacas lecheras (Thomas et al., 2005). Se ha informado en los búfalos el efecto negativo

del ruido de las máquinas de ordeño en los animales (Polikarpus et al., 2014a), quienes al sentirse incómodos pueden retener la leche (Borghese et al., 2007). De tal manera, que el manejo suave y lento de los animales tiene efectos positivos, disminuyendo el nerviosismo de las búfalas durante el ordeño (Ellingsen et al., 2014).

En el presente capítulo se abordan aspectos básicos del comportamiento de la búfala durante el parto y ordeño. Además, se revisa el mecanismo neurofisiológico del dolor normal que acompaña el parto, y se describe el dolor que puede experimentar la búfala con mastitis, el cual debemos a toda costa evitar, ya que, si progresa, comprometerá no sólo el estado de salud y bienestar de la búfala, sino además afectará las ganancias económicas de los ganaderos.

EL PARTO

Las búfalas de agua durante la etapa preparto exhiben patrones naturales de comportamiento (similares a las vacas del género *Bos*), los cuales ayudan a la identificación de un parto inminente. Un aspecto del comportamiento previo al parto observado en vacas del género *Bos*, es el aislamiento (Rørvang et al., 2018). Como animal gregario, previo al proceso del parto, las búfalas de agua se retiran del grupo, y como animales presa, paren en sitios protegidos y alejados de la manada (De Rosa, et al, 2009b); evento en el que coinciden, tanto búfalas como vacas lecheras y cárnicas (*Bos taurus* y *B. indicus*) criadas bajo

condiciones extensivas. El aislamiento sin interferencia de otras hembras es de suma importancia, ya que favorece el establecimiento del vínculo madre-cría (De Rosa et al., 2009a) y la supervivencia de la descendencia. Este vínculo facilita el reconocimiento mutuo y le permite a la cría tener acceso rápido a la ubre y al calostro (Von Keyserlingk y Weary, 2007).

El comienzo del parto en la búfala se caracteriza por la extensión de la cola, la flexión de la articulación de la cadera y de las patas traseras, cuando la hembra se encuentra de pie. En la posición de recumbencia, también hay estiramiento del cuello y las extremidades (Mohammad y Abdel-Rahman, 2013). Al igual que en otros ungulados, las búfalas generalmente paren de pie (Von Keyserlingk y Weary, 2007).

La exploración, es el comportamiento común en la mayoría de las hembras parturientas durante la primera etapa del parto, con un intenso uso del olfato sobre el piso, además, si se les proporciona algún sustrato como paja, comienzan a empujarla con la cabeza y extremidades hasta formar un área de descanso, ya que, durante el progreso de esta primera etapa, la mayoría de las hembras se acuestan y levantan varias veces, rascando el suelo y observando hacia el abdomen (Mohammad y Abdel-Rahman, 2013).

Un estudio realizado por Mohammad y Abdel-Rahman (2013), evaluaron los cambios en el comportamiento exploratorio durante la primera etapa del parto en casos de distocias en

búfalas. Los autores determinaron signos de mayor dolor y estrés durante los partos distócicos. El monitoreo de partos considerando aspectos fisiológicos y de comportamiento permite identificar los partos que pudieran llegar a causar problemas y tomar precauciones.

La labor de parto está constituida por tres fases secuenciales comenzando con la dilatación del cuello uterino, que termina con la ruptura del corioalantoides en la vagina; en seguida el bucerro es visible en la vulva y es expulsado y, finalmente la eliminación de las membranas fetales (Mohammad y Abdel-Rahman, 2013; Proudfoot et al., 2013). Cabe señalar que, en condiciones normales, la primera etapa del trabajo del parto generalmente es más prolongada en búfalas primerizas que en multíparas (Mohammad y Abdel-Rahman, 2013). Con la ruptura del corioalantoides y el derrame de fluido amniótico, la búfala comienza a lamerlos, se cree que esta ruptura conduce a un aparente alivio de la parturienta (Wehrend et al., 2006).

Durante la primera etapa del parto, cuando el cuello uterino comienza a dilatarse y el becerro comienza a acomodarse para ser expulsado, la madre muestra varios cambios de comportamiento. Se observa un aumento en el número de episodios en que la hembra se pone de pie, lo que refleja inquietud (Huzzey et al., 2005). La inquietud también se caracteriza por el aumento en el tiempo que dedica la parturienta a caminar (Wehrend et al., 2006).

Debido a la presencia de contracciones uterinas, la búfala se vuelve inquieta, por lo que se puede observar un aumento en los cambios de posición (Huzzey et al., 2005; Miedema et al., 2011; Jensen, 2012), y comienza a prestar más atención al abdomen (Jensen, 2012), mientras permanece de pie y levanta cada vez más la cola (Miedema et al., 2011).

El inicio de las contracciones abdominales rítmicas y la liberación del saco amniótico son indicativos prominentes del comienzo de la segunda etapa del trabajo de parto (Noakes et al., 2001).

En la segunda etapa del parto, la intensidad y frecuencia de las contracciones uterinas y abdominales ayudan a expulsar a la cría (Schuenemann et al., 2011). Al pasar por el canal de parto, el feto produce estimulación cervico-vaginal activando al hipotálamo, quien libera oxitocina y esta hormona actúa sobre el bulbo olfatorio de la búfala lo que, a su vez, permite la secreción de dopamina, iniciando el período sensible durante el cual la madre identifica a su bucerro (Pankaj et al., 2017). Figura 1.



Figura 1. Imprintación de la búfala con su cría. El vínculo que se genera inmediatamente al nacimiento así como la vitalidad del recién nacido serán fundamentales y trascendentes en el grado de sobrevivencia de la cría. (Mota-Rojas et al., 2018; Mota-Rojas et al., 2020a; Orihuela et al., 2019).

Durante la tercera y última etapa del trabajo de parto, se observa la expulsión de la placenta para dar inicio con la involución uterina.

Origen y transmisión de estímulos de dolor durante el parto

El parto en sí mismo plantea grandes exigencias físicas y se asocia con dolor. El parto es un proceso dinámico y se caracteriza por contracciones uterinas dolorosas y constantes que aumentan en frecuencia e intensidad. El dolor de parto tiene componentes viscerales y somáticos (Hashemi et al., 2018; Alimoradi et al., 2019).

El dolor surge en el sistema nervioso periférico y las señales de dolor hacen sinapsis con los tractos nerviosos que se extienden hacia el sistema nervioso central (**Figura 2**). En la primera etapa del parto, durante la fase de dilatación predomina el dolor visceral, con estímulos dolorosos derivados de la distensión mecánica del segmento uterino inferior y la dilatación cervical (Mainau y Manteca, 2011; Dubey et al., 2018).

Lowe (2002), encontró que, en mujeres, estos estímulos nociceptivos (fase de dilatación) se transmiten a los ganglios de la raíz nerviosa posterior en T10 (nervio espinal del segmento torácico que se origina en la columna vertebral por debajo de la décima vértebra torácica) a través de L1 (nervio espinal del segmento lumbar), que se origina en la columna vertebral por debajo de la primera vértebra lumbar).

El dolor del parto (dolor visceral) puede referirse progresivamente a la pared abdominal, región lumbosacra, crestas iliacas, glúteos y muslos. El inicio de las contracciones

abdominales, rotura del saco alantocoriónico y la expulsión del feto caracterizan la segunda fase del parto.

En esta etapa se presenta el ensanchamiento final del cuello uterino (Taverne, 1992), por lo que predomina el dolor somático por distensión y tracción de las estructuras pélvicas que rodean la vagina y por distensión del suelo pélvico y el perineo.

En la tercera etapa del parto las contracciones uterinas persisten, disminuyendo en amplitud, sin embargo, pueden seguir teniendo la misma intensidad, pero menos frecuentes (Noakes et al., 2001).

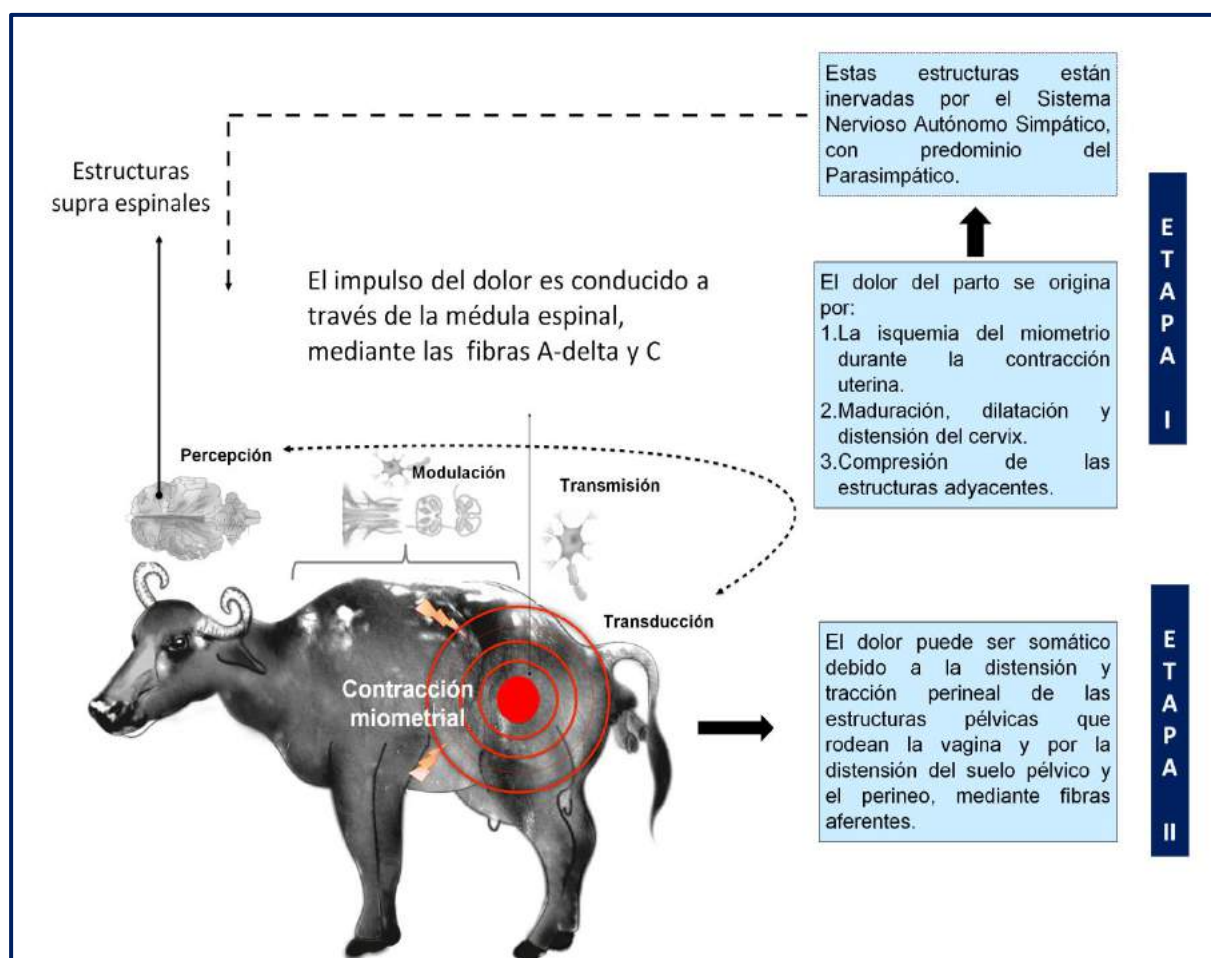


Figura 2. Transmisión del impulso doloroso durante el parto de la búfala.

COMPORTAMIENTO Y BIENESTAR DE LA BÚFALA LECHERA AL ORDEÑO

Estudios recientes demuestran que la rutina de ordeño puede afectar el nivel de confort de las búfalas, ya que deben habituarse a los movimientos específicos que forman parte de la rutina diaria, vincularse con el horario, el trato durante la interacción humano-animal, el diseño del establo y las instalaciones en general (Polikarpus et al., 2014b), por lo que la falta de adopción de las mismas originan estrés durante el ordeño (Munksgaard et al., 2001; Rushen et al., 2001).

Thomas et al. (2005), señalan que durante el ordeño las búfalas son más sensibles a los factores estresantes que las vacas lecheras del género *Bos*. La producción de adrenalina en los animales estresados puede provocar la disminución en la liberación de oxitocina necesaria para mantener el flujo de leche durante el ordeño (Borghese et al., 2007). El mínimo cambio en la rutina de ordeño puede incomodar y alertar a las búfalas (Napolitano et al., 2013), debido al miedo ocasionado por la neofobia (Polikarpus et al., 2014b) afectando la producción de leche. En el caso especial de la búfala de agua, la ubre tiene una cisterna pequeña, por lo que el mayor porcentaje de leche se almacena en el compartimento alveolar (aproximadamente el 95%), la cual requiere la presencia de oxitocina para su liberación (Thomas et al., 2005).

Al inicio del ordeño, la leche se encuentra en dos niveles, la primer fracción a nivel de la cisterna (leche cisternal), que

corresponde a la leche de fácil extracción por simple presión a nivel del pezón, y la segunda fracción en la región alveolar y en los conductos lobulares (leche alveolar) de más difícil extracción, de aquí la importancia de una estimulación previa al ordeño para una correcta respuesta de eyección de leche (Pankaj et al., 2017), la cual sólo se puede obtener mediante la liberación de oxitocina (Cavallina et al, 2008).

En el sistema tradicional de producción de leche a pequeña escala, los bucerros se mantienen cerca de la madre para favorecer y estimular la bajada de la leche (Singh et al., 2017). Mientras que, en un sistema intensivo, la estimulación se presenta durante la higienización de la ubre a través del lavado manual, dando masaje a las ubres con agua corriente durante 5 segundos (Cavallina et al., 2008). Cabe señalar que, los tiempos y procedimientos previos al ordeño deben ser rutinarios para reforzar la bajada de la leche, independientemente del tipo de sistema de producción (Cavallina et al., 2008). El estrés generado en las salas de ordeño afecta de manera particular la producción de leche en la búfala, ya que como se mencionó anteriormente, éste reduce el suministro de oxitocina necesaria para la bajada de la leche de la fracción alveolar (Neglia et al., 2008). Por lo anterior, mantener el orden en que las búfalas se ordeñan resulta fundamental (Polikarpus et al., 2014b; 2015). Diversos autores coinciden que una característica destacada del sistema social del ganado lechero es el orden constante de entrada a la sala de ordeño (Grasso et al., 2007; Berry y

McCarthy, 2012), el cual puede ser influenciado por varios factores, por ejemplo: rango social (Melin et al., 2006), salud (Flower et al., 2006) y nivel de productividad (Górecki y Wójtowski, 2004), entre otros.

En general, la búfala prefiere un lado específico de la sala de ordeño (lateral izquierdo o lateral derecho) y son pocas las que no tienen preferencia por el sitio o sección de la sala para ser ordeñadas. Esto indica que, cualquier práctica de manejo que impida la preferencia de orden y sitio dentro de la sala de ordeño, generará estrés y podrá comprometer el nivel de bienestar, salud, y productividad de las búfalas (Polikarpus et al., 2015). Prelle et al. (2004) señalaron que la lateralización del comportamiento de las búfalas depende del dominio y la estructura social del rebaño, y de manera individual la ansiedad, el miedo, el estrés y la sensibilidad. Al impedir que los animales realicen patrones de comportamiento específicos, puede provocarse un estado psicológico negativo afectando su bienestar (Jensen y Toates, 1993).

Las malas prácticas en las rutinas de ordeño pueden además de llevar a una disminución del flujo y de la producción de leche, a predisponer a una mastitis debido al deficiente vaciado de la ubre (Cavallina et al., 2008; De Rosa et al., 2009a). Una herramienta que ha resultado ser muy útil para valorar predisposición a mastitis debido a la identificación de cambios microcirculatorios a nivel vascular, es la termografía infrarroja (Mota-Rojas et al., 2019c,d; Bertoni et al., 2020a,b). Figura 3. La valoración termográfica de la ubre es cada vez más frecuente y

los estudios se han enfocado a evaluar la salud en vacas lecheras, principalmente en cuanto a la relación entre la temperatura superficial de la ubre y la puntuación obtenida en la prueba de California, sugiriendo así que la IRT también puede servir como herramienta para la detección de mastitis (Colak et al., 2008).

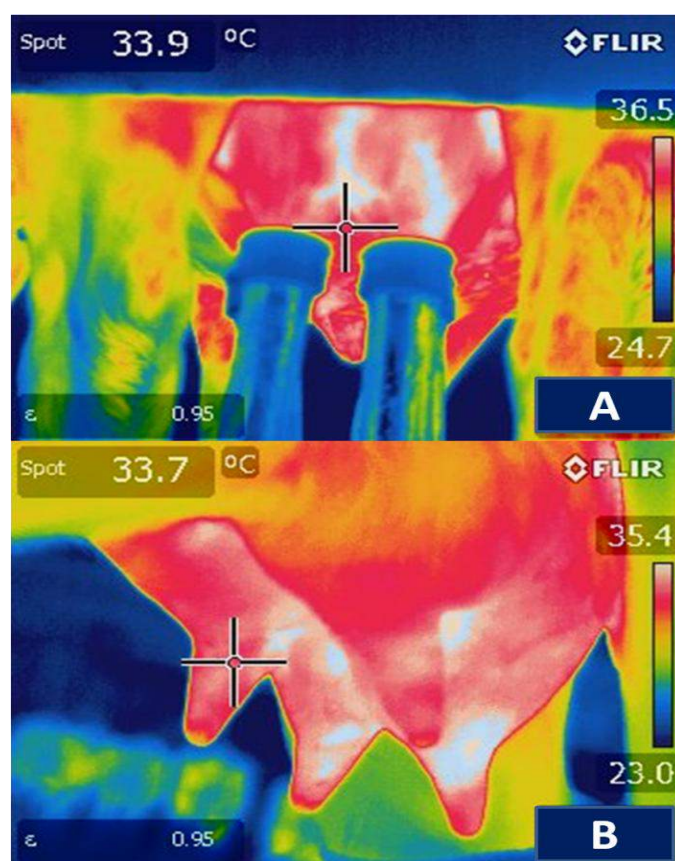


Figura 3. Monitoreo de la ubre mediante termografía infrarroja para detección de procesos inflamatorios por medio de cambios de la microcirculación dérmica. **A.** Ordeña mecánica, se aprecia el tejido de la ubre en color rojo y blanco y en azul las pezoneras de la máquina ordeñadora. **B.** Ubre postordeño. En etapas tempranas del ordeño, la búfala se expone a un largo período de vacío sin ninguna eyección de leche (Caria et al., 2011), aunado al uso de aspiradoras de alto rendimiento, lo que, combinado con la ausencia de leche, puede causar irritación en los delicados tejidos mamarios (Bruckmaier y Blum, 1996) y predisponer la presencia de un agente patógeno oportunista.

En sistemas de producción intensivos, el ordeño de la búfala podría representar un estímulo crónico estresante provocando miedo o incomodidad para las hembras cuando la máquina de ordeño no tiene las constantes de operación apropiadas para la búfala (operación de vacío de 50 kPa, 70 ciclos de pulsaciones / min en una proporción de 65:35) (Cavallina et al., 2008), o que el mantenimiento de la máquina ordeñadora sea deficiente (Cavallina et al., 2008; De Rosa et al., 2009ab). Otros estímulos estresantes que se suman durante el ordeño, son la separación de las crías y el nuevo ambiente al que se enfrentan los animales (Cavallina et al., 2008), así como el comportamiento del manejador (Saltalamacchia et al., 2007). Por ejemplo, si el arreo hacia la sala de ordeño por parte del ordeñador es agresivo o brusco, provocaría además mayor pérdida en la producción de leche (Cavallina et al., 2008; De Rosa et al., 2009a; Saltalamacchia et al., 2007). Con la finalidad de contrarrestar los efectos negativos debidos a la interacción humano-animal, así como para disminuir los comportamientos relacionados con ansiedad y estrés agudo (tales como patear, movimientos de desplazamiento y de micción) en las búfalas primerizas que tienen un primer contacto con la máquina ordeñadora, algunos investigadores proponen el uso de oxitocina exógena (Cavallina et al., 2008). Otros proponen, el uso de interacciones positivas como el manejo calmado y cordial por el personal de la unidad productiva y dentro de la sala de ordeño (Saltalamacchia, et al., 2007) y la implementación de programas de habituación para las búfalas primerizas 0, 3 y 6

días previos al parto (Polikarpus et al., 2014b). Cabe señalar que el uso de oxitocina exógena debe ser muy cuidadoso y su utilidad sólo debe estar dirigido a los animales que tengan dificultad para la bajada de la leche, y no exceder su administración de forma cotidiana.

Factores predisponentes a mastitis

Las características en la leche de búfala como el alto contenido de sólidos totales, con un contenido de proteína promedio de $3.91 \pm 0.61\%$ y un contenido de grasa de $6.87 \pm 0.88\%$ (Tonhati et al., 2000); aseguran un elevado rendimiento en la producción de derivados lácteos, lo que coloca la producción del búfalo de agua como un recurso ganadero de importancia económica para la producción de leche y sus derivados (Tanamati et al., 2019). Sin embargo, la producción y composición de leche pueden verse afectadas significativamente, si la salud animal (como la salud de la ubre) se encuentra comprometida (Rainard y Riollot, 2006; Napolitano et al., 2019), además de aumentar los efectos negativos sobre el bienestar animal.

Es del interés de los autores, analizar la presencia de mastitis en la búfala de agua, que hace que la leche sea menos apta para el consumo y procesamiento, ocasionando pérdidas económicas considerables asociadas con el curso subclínico y la evolución crónica de la enfermedad (Rainard y Riollot, 2006). Como se

mencionó anteriormente, las malas prácticas en las rutinas de ordeño pueden predisponer a mastitis debido a un deficiente vaciado de la ubre (Cavallina et al., 2008; De Rosa et al., 2009a).

La mastitis de origen bacteriano en los grandes rumiantes es una de las enfermedades más comunes en la industria láctea y representa un desafío global importante (Bradley, 2002). Además, constituye un problema significativo en materia de bienestar animal (de Boyer des Roches et al., 2017; Mota-Rojas, 2019a,b).

La mastitis se caracteriza por la inflamación de la glándula mamaria resultante de cambios metabólicos y fisiológicos, traumatismos o invasión de patógenos (Oviedo-Boyso et al., 2007). En la búfala, los patógenos implicados con mayor frecuencia son bacterias coliformes (*Klebsiella pneumoniae* y *Escherichia coli*), seguidas de *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus uberis* y *S. agalactiae* (El-Khodery y Osman, 2008). Sin embargo, microorganismos como hongos y levaduras también se asocian con la mastitis en bovinos (Petzl et al., 2008). La mastitis causada por *E. coli* es típicamente autolimitante y de corta duración, pero puede asociarse con signos clínicos graves, reducción en la producción de leche y daño tisular grave de la glándula mamaria (Burvenich et al., 2003).

Aunque tradicionalmente se considera que los búfalos lecheros son menos susceptibles a la mastitis que el ganado vacuno (Guccione, 2017), algunos investigadores encuentran frecuencias de mastitis similares para ambas especies (Guccione et al., 2014). Por lo que la elevada prevalencia de infecciones intramamarias subclínicas (IMI), podría llevar a subestimar el tamaño del problema, especialmente en la especie bufalina (Pisanu et al., 2019).

Las estrategias de manejo como la toma de consciencia sobre el ordeño eficiente y aseado, así como las medidas higiénicas, limitan en buena parte la propagación de bacterias gram positivas, ayudando a disminuir de forma significativa la proporción de aislamientos de *S. aureus* y mastitis subclínica en todo el mundo (Burvenich et al., 2003). Sin embargo, la mastitis continúa siendo una de las enfermedades más comunes en la industria láctea, con efectos negativos en la economía (de Boyer des Roches et al., 2017); por ejemplo, en el sur de Italia (Restucci et al., 2019).

Cabe señalar, que el conocimiento sobre la salud de la ubre del búfalo es más limitado en comparación con las vacas lecheras, pero en ambas especies son evidentes los efectos perjudiciales. Sin embargo, el dolor asociado con la mastitis clínica, en general, no se mide ni se trata (Leslie y Petersson-Wolfe 2012), lo que repercute de manera importante en el bienestar animal.

Percepción del dolor durante la ordeña en búfalas con mastitis

El dolor es un término humano generalmente asociado con experiencias desagradables, el cual tiene un alto grado de subjetividad; en los animales, para identificar si están experimentando dolor, se consideran los cambios en las reacciones fisiológicas y conductuales. La Asociación del Estudio de Dolor (IASP) define el dolor en los humanos como "una experiencia sensorial y emocional desagradable con daño tisular real o potencial" (Merskey, 1994). Recientemente la IASP en el 2020 señaló que la incapacidad para comunicarse no niega la posibilidad de que un animal no humano experimente dolor; por lo que la definición de dolor debería ser aplicable a humanos y animales no humanos por igual (Raja et al., 2020).

Definir el dolor en animales puede ser complicado, debido a que existen diferencias en las respuestas al dolor entre especies, entre individuos, entre diferentes etapas de la enfermedad y entre condiciones agudas y crónicas (Leslie y Petersson-Wolfe, 2012).

En los grandes rumiantes, los casos clínicos severos de mastitis cursan con signos visibles de dolor y molestia en el animal, sumado a la disminución de la producción de leche, pérdida de peso corporal y posturas anormales (Huxley y Hudson, 2007). En casos leves y moderados de la enfermedad clínica o bien, en la etapa subclínica, no es tan fácil caracterizar eventos dolorosos asociados con la misma (Fitzpatrick et al., 1998).

El dolor del pezón y de la ubre resulta de la estimulación química, mecánica o térmica de las terminaciones nerviosas libres que contienen nociceptores. Las células de los tejidos lesionados liberan mediadores inflamatorios, como prostaglandinas, histamina y bradicinina, estimulando a los nociceptores en las terminaciones nerviosas cercanas. Por lo que un estímulo que afecta a un número relativamente pequeño de terminaciones nerviosas estimula a otras más, lo cual amplifica la sensación.

Los impulsos derivados de dicho estímulo se dirigen a través de la parte ventrolateral de la médula espinal hacia el tronco encefálico y el tálamo, lo que deriva en una mayor amplificación. La activación de ciertas áreas de la corteza cerebral a través del tálamo permite la percepción consciente del dolor (**Figura 4**). Teóricamente, el dolor es una "experiencia" central que se debe a la nocicepción en los nervios periféricos. El dolor agudo es el resultado de la lesión tisular, con activación del sistema nervioso autónomo simpático. En casos de dolor crónico se observa la presencia de altos niveles de mediadores inflamatorios alrededor del sitio de la lesión, así como la activación persistente de las fibras del dolor en la médula espinal que conducen a una hiperalgesia (Hudson et al., 2008).

El dolor y el malestar que acompañan a la mastitis pueden comprometer gravemente el bienestar animal (Leslie y

Petersson-Wolfe, 2012), por lo que en años recientes se dedica especial atención al dolor como un aspecto relevante de la enfermedad, en consideración con los principios básicos del bienestar animal (Giovannini et al., 2017); debido a que la mastitis interfiere con cuatro de las cinco libertades (FAWC, 2009).

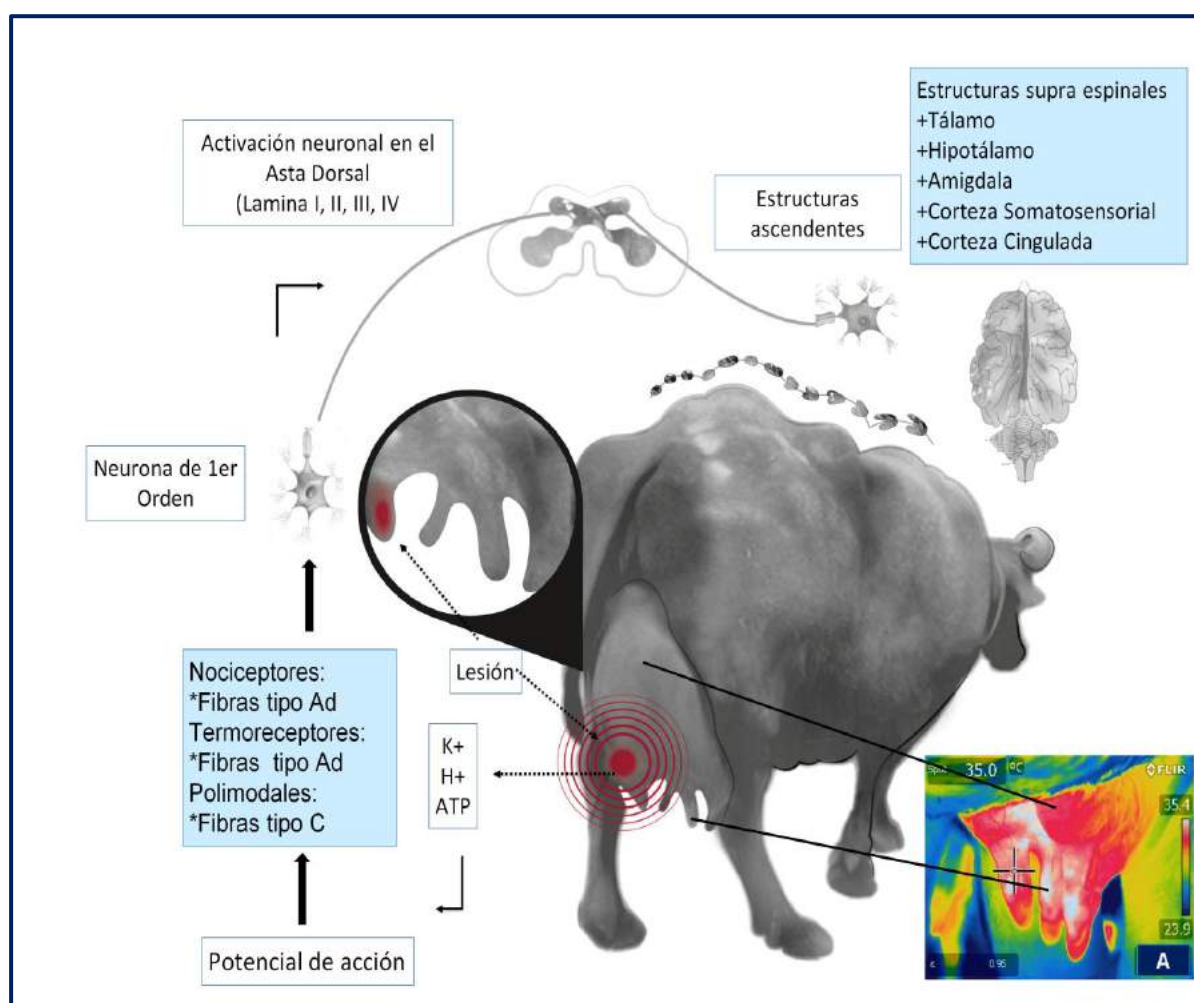


Figura 4. Mecanismo de transmisión del impulso doloroso en un proceso de mastitis crónica en la búfala lechera. En la letra (A), se aprecia un termograma infrarrojo de la ubre donde se evidencian los cambios de temperatura superficial, lo cual resulta útil para identificar procesos inflamatorios incipientes que no son clínicamente observados y/o detectados

Entre los indicadores para reconocer y cuantificar el dolor por la mastitis bovina se proponen: 1) las alteraciones de los parámetros fisiológicos como frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y temperatura (Leslie y Petersson-Wolfe, 2012), parámetros considerados como buenos indicadores de la gravedad de la enfermedad en la mastitis de aparición espontánea (Kemp et al., 2008); 2) modificación de la conducta postural e ingestiva (se consideran tiempos dedicados a comer, rumiar y echarse) (Yeiser et al., 2012; Cyples et al., 2012); 3) expresión de comportamientos activos como dar pasos, patear y levantar extremidades (Siivonen et al., 2011; Medrano-Galarza et al., 2012) y 4) alteración de los umbrales nociceptivos (Rasmussen et al., 2011; Fitzpatrick et al., 2013).

Giovannini et al. (2017) indujeron mastitis subclínica de forma experimental (mediante el ácido lipoteicoico (LTA) y lipopolisacáridos derivados de *S. aureus* y *E. coli*, respectivamente) en vacas *B. taurus* (Holstein y Swiss Fleckvieh), y desarrollaron un sistema de puntuación del dolor multidimensional específico para esta enfermedad. El sistema incluye dos categorías principales con signos generales y locales, respectivamente. Los signos generales abarcan seis subcategorías, incluyendo: 1) Evaluación subjetiva general (sin signos de dolor o signos de dolor severo), 2) Comportamiento postural, las tres primeras relacionadas con la expresión facial (orejas agachadas, asimétricas, párpados superiores

corrugados, ollares abiertos, inquietud, apatía, patas posteriores separadas), 3) Comportamiento interactivo (interés o sin interés), 4) Respuesta a la comida (con apetito o falta total de apetito), 5) Posición del sacro (normal, hacia abajo con la espalda arqueada, sin reacción), y 6) Reacción a la palpación de la espalda (sin reacción o con reacción severa). Por otro lado, los signos locales abarcan dos subcategorías: 1) Edema de la ubre (sin hinchazón o con hinchazón severa), y 2) Palpación de la ubre; sin reacción, reacción mediana (movimiento de la cola, levantamiento de extremidades), reacción severa (patadas, desplazamiento alejándose).

Con este sistema de puntuación del dolor se obtiene un índice de dolor total, con un valor máximo posible de 42, al sumar las puntuaciones asignadas a cada subcategoría. Cabe resaltar que, en dicho estudio, también se utilizó la medición de temperatura a través de termografía infrarroja, sin embargo, no observaron cambios relacionados con el tratamiento, quizá se deban considerar algunos factores como temperatura ambiental, oscilaciones circadianas o actividad física. La propuesta de este tipo de estudios (inducir una afección de manera experimental) ha contribuido a reconocer y cuantificar el dolor de la mastitis bovina (evaluar el umbral del dolor), caracterizando la respuesta fisiológica y conductual a la invasión patógena de la glándula mamaria, la cual fue efectiva.

CONSIDERACIONES FINALES

En base a la información disponible en búfalos, que por cierto es escasa, el parto genera un estrés que afecta tanto el bienestar animal como la producción láctea, por ello es necesario conocer la dinámica del parto para diferenciar hasta donde es lo normal y hasta donde patológico para tomar la mayor cantidad de medidas posibles para mitigarlo. Otro elemento fundamental de la vida productiva de la búfala lechera es buscar la eficiencia y eficacia del ordeño, ya que influye de manera decisiva en la productividad y estado de salud de la madre. En el ordeño, existen diversos factores que influyen negativamente en el desempeño productivo de las búfalas, principalmente las malas prácticas de manejo. Los estudios señalan que durante el ordeño las búfalas son más sensibles a los factores estresantes que las vacas lecheras. Se debe hacer mucho énfasis en que en los ordeños mecánicos se deben controlar todos los aspectos asociados al ajuste de las máquinas para el adecuado funcionamiento en la búfala.

Para contrarrestar los efectos negativos debidos a la interacción humano-animal, así como para disminuir los comportamientos relacionados con ansiedad y estrés agudo en las búfalas primerizas que tienen un primer contacto con la máquina ordeñadora, algunos investigadores proponen el uso de oxitocina exógena y el uso de interacciones positivas como el

manejo calmado y cordial por el personal de la unidad productiva y dentro de la sala de ordeño y la implementación de programas de habituación para las búfalas primerizas.

Aunque tradicionalmente se considera que los búfalos lecheros son menos susceptibles a la mastitis que el ganado vacuno, existe evidencia de frecuencias de mastitis similares para ambas especies. El conocimiento sobre la salud de la ubre del búfalo es más limitado en comparación con las vacas lecheras, pero en ambas especies son evidentes los efectos perjudiciales graves para los animales, y, sin embargo, el dolor asociado con la mastitis clínica, en general, no se mide ni se trata, lo que repercute de manera importante en el nivel de bienestar animal. Sin embargo, la tendencia en años recientes es dedicar especial atención al dolor como un aspecto relevante de la enfermedad. Se requieren más estudios que contribuyan a reconocer y cuantificar el dolor de la mastitis (evaluar el umbral del dolor), caracterizando la respuesta fisiológica y conductual.

Se considera fundamental en la industria bufalina, el conocimiento de los aspectos básicos del comportamiento de la búfala durante el parto y ordeño. En este capítulo, se ha mostrado el mecanismo neurofisiológico de dolor normal que acompaña el parto, y el dolor que puede experimentar la búfala con mastitis, el cual se debe evitar, ya que, si progresa, compromete el estado de salud y bienestar de la búfala, además de afectar las ganancias económicas de los ganaderos.

REFERENCIAS

- FAWC, 2009. Five freedoms. Farm Animal Welfare Council [WWW Document]. URL <https://www.gov.uk/government/groups/farm-animal-welfare-committee-fawc>.
- IASP. 1979. International Association for the Study of Pain (IASP). IASP Pain Terminology 1979. Available at: <https://www.iasp-pain.org/terminology?navItemNumber=576#Pain>.
- Alimoradi, Z., Kazemi, F., Valiani, M., Gorji, M., 2019. Comparing the effect of auricular acupressure and body acupressure on pain and duration of the first stage of labor: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials* 20, 766. <https://doi.org/10.1186/s13063-019-3896-0>
- Berry, D.P., McCarthy, J., 2012. Genetic and non-genetic factors associated with milking order in lactating dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 136, 15–19. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.11.012>
- Bertoni, A., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macias, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I., Morales-Canela, A., Gómez-Prado, J., José-Pérez, N., Martínez-Burnes, J., 2020. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 8:288-297. doi.org/10.31893/jabb.20038

- Borghese, A., Rasmussen, M., Thomas, C.S., 2007. Milking management of dairy buffalo. *Ital. J. Anim. Sci.* 6, 39–50. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.39>
- Bradley, A.J., 2002. Bovine Mastitis: An Evolving Disease. *Vet. J.* 164, 116–128. <https://doi.org/10.1053/tvj.2002.0724>
- Bruckmaier, R.M., Blum, J.W., 1996. Simultaneous recording of oxytocin release, milk ejection and milk flow during milking of dairy cows with and without prestimulation. *J. Dairy Res.* 63, 201–208. <https://doi.org/10.1017/S0022029900031708>
- Burvenich, C., Van Merris, V., Mehrzad, J., Diez-Fraile, A., Duchateau, L., 2003. Severity of *E. coli* mastitis is mainly determined by cow factors. *Vet. Res.* 34, 521–564. <https://doi.org/10.1051/vetres:2003023>
- Caria, M., Murgia, L., Pazzona, A., 2011. Effects of the working vacuum level on mechanical milking of buffalo. *J. Dairy Sci.* 94, 1755–1761. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3134>
- Cavallina, R., Roncoroni, C., Campagna, M.C., Minero, M., Canali, E., 2008. Buffalo behavioural response to machine milking in early lactation. *Ital. J. Anim. Sci.* 7, 287–295. <https://doi.org/10.4081/ijas.2008.287>
- Colak, A., Polat, B., Okumus, Z., Kaya, M., Yanmaz, L.E., Hayirli, A., 2008. Short Communication: Early Detection of Mastitis Using Infrared Thermography in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 91, 4244–4248. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1258>
- Cyples, J.A., Fitzpatrick, C.E., Leslie, K.E., DeVries, T.J., Haley, D.B., Chapinal, N., 2012. Short communication: The effects of experimentally induced *Escherichia coli* clinical mastitis

- on lying behavior of dairy cows. J. Dairy Sci. 95, 2571–2575. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5135>
- De Boyer des Roches, A., Faure, M., Lussert, A., Herry, V., Rainard, P., Durand, D., Foucras, G., 2017. Behavioral and patho-physiological response as possible signs of pain in dairy cows during *Escherichia coli* mastitis: A pilot study. J. Dairy Sci. 100, 8385–8397. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12796>
- De Rosa, G., Grasso, F., Braghieri, A., Bilancione, A., Di Francia, A., Napolitano, F., 2009a. Behavior and milk production of buffalo cows as affected by housing system. J. Dairy Sci. 92, 907–912. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1157>
- De Rosa, G., Grasso, F., Pacelli, C., Napolitano, F., Winckler, C., 2009b. The welfare of dairy buffalo. Ital. J. Anim. Sci. 8, 103–116. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s1.103>
- Dubey, P., Singh, R.R., Choudhary, S.S., Verma, K.K., Kumar, A., Gamit, P.M., Dubey, S., Prajapati, K., 2018. Post parturient neonatal behaviour and their relationship with maternal behaviour score, parity and sex in Surti buffaloes. J. Appl. Anim. Res. 46, 360–364. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1306533>
- El-Khodery, S.A., Osman, S.A., 2008. Acute coliform mastitis in buffaloes (*Bubalus bubalis*): Clinical findings and treatment outcomes. Trop. Anim. Health Prod. 40, 93–99. <https://doi.org/10.1007/s11250-007-9057-6>
- Ellingsen, L.A.W., Majeau-Bettez, G., Singh, B., Srivastava, A.K., Valøen, L.O., Strømman, A.H., 2014. Life Cycle

- Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack. *J. Ind. Ecol.* 18, 113–124. <https://doi.org/10.1111/jiec.12072>
- Fitzpatrick, C.E., Chapinal, N., Petersson-Wolfe, C.S., DeVries, T.J., Kelton, D.F., Duffield, T.F., Leslie, K.E., 2013. The effect of meloxicam on pain sensitivity, rumination time, and clinical signs in dairy cows with endotoxin-induced clinical mastitis. *J. Dairy Sci.* 96, 2847–2856. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5855>
- Fitzpatrick, J.L., Young, F.J., Eckersall, D.N.D., Logue, Knight, C.J., Nolan, A., 1998. recognising and controlling pain and inflammation in mastitis, in: Stoneleigh, I. for A.H. (Ed.), *Proceedings of the British Mastitis Conference*. Coventry, West Midlands (UK), pp. 36–44.
- Flower, F.C., Sanderson, D.J., Weary, D.M., 2006. Effects of Milking on Dairy Cow Gait. *J. Dairy Sci.* 89, 2084–2089. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72278-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72278-0)
- Giovannini, A.E.J., van den Borne, B.H.P., Wall, S.K., Wellnitz, O., Bruckmaier, R.M., Spadavecchia, C., 2017. Experimentally induced subclinical mastitis: are lipopolysaccharide and lipoteichoic acid eliciting similar pain responses? *Acta Vet. Scand.* 59, 40. <https://doi.org/10.1186/s13028-017-0306-z>
- González-Lozano, M., Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Martínez-Burnes, J., Di Francia, A., Braghieri A., Berdugo, J., Mora-Medina, P., Ramírez, R., Napolitano, F., Behavioral, physiological and reproductive performance in buffaloes during eutocic and dystocic parturitions. *Appl. Anim. Sci.*

- 36,407–422.
- Górecki MT, Wójtowski J, 2004. Stability of milking order in goat over a long period (short communication). Arch. Tierz 47, 203–208.
- Grasso, F., De Rosa, G., Napolitano, F., Di Francia, A., Bordi, A., 2007. Entrance order and side preference of dairy cows in the milking parlour. Ital. J. Anim. Sci. 6, 187–194. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.187>
- Guccione, J., 2017. Mastitis in Mediterranean Buffaloes. J. Dairy Vet. Sci. 2. <https://doi.org/10.19080/JDVS.2017.02.555596>
- Guccione, J., Pesce, A., Pascale, M., Tommasini, N., Garofalo, F., Di Loria, A., Cortese, L., Salzano, C., Ciaramella, P., 2014. Short communication: Effects of systemic treatment with penethamate hydriodide on udder health and milk yields in dry primiparous Mediterranean buffaloes (*Bubalus bubalis*). J. Dairy Sci. 97, 2219–2225. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7268>
- Hashemi Asl, B.M., Vatanchi, A., Golmakani, N., Najafi, A., 2018. Relationship between behavioral indices of pain during labor pain with pain intensity and duration of delivery. Electron. Physician 10, 6240–6248. <https://doi.org/10.19082/6240>
- Hudson, C., Whay, H., Huxley, J., 2008. Recognition and management of pain in cattle. In Pract. 30, 126–134. <https://doi.org/10.1136/inpract.30.3.126>
- Huxley JN, Hudson, C., 2007. Should we control the pain of mastitis? Int Dairy Top. 6, 17–19.

- Huzzey, J.M., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., 2005. Changes in Feeding, Drinking, and Standing Behavior of Dairy Cows During the Transition Period. *J. Dairy Sci.* 88, 2454–2461. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72923-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72923-4)
- Jensen, M.B., 2012. Behaviour around the time of calving in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 139, 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.04.002>
- Jensen, P., Toates, F.M., 1993. Who needs ‘behavioural needs’? Motivational aspects of the needs of animals. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 37, 161–181. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(93\)90108-2](https://doi.org/10.1016/0168-1591(93)90108-2)
- Kemp, M.H., Nolan, A.M., Cripps, P.J., Fitzpatrick, J.L., 2008. Animal-based measurements of the severity of mastitis in dairy cows. *Vet. Rec.* 163, 175–179. <https://doi.org/10.1136/vr.163.6.175>
- Leslie, K.E., Petersson-Wolfe, C.S., 2012. Assessment and Management of Pain in Dairy Cows with Clinical Mastitis. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 28, 289–305. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2012.04.002>
- Lowe, N.K., 2002. The nature of labor pain. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 186, S16–S24. [https://doi.org/10.1016/S0002-9378\(02\)70179-8](https://doi.org/10.1016/S0002-9378(02)70179-8)
- Mainau, E., Manteca, X., 2011. Pain and discomfort caused by parturition in cows and sows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 135, 241–251. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.10.020>
- Medrano-Galarza, C., Gibbons, J., Wagner, S., de Passillé, A.M.,

- Rushen, J., 2012. Behavioral changes in dairy cows with mastitis. *J. Dairy Sci.* 95, 6994–7002. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5247>
- Melin, M., Hermans, G.G.N., Pettersson, G., Wiktorsson, H., 2006. Cow traffic in relation to social rank and motivation of cows in an automatic milking system with control gates and an open waiting area. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 96, 201–214. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.06.013>
- Merskey H, B.N., 1994. Classification of Chronic Pain, in: *Descriptions of Chronic Pain Syndromes and Definitions of Pain Terms*. Seattle. IASP Press, Seattle, p. 222.
- Miedema, H.M., Cockram, M.S., Dwyer, C.M., Macrae, A.I., 2011. Changes in the behaviour of dairy cows during the 24h before normal calving compared with behaviour during late pregnancy. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 131, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.01.012>
- Mohammad, D.R.I., Abdel-Rahman, M.A.M., 2013. A comparative study on behavioral, physiological, and adrenal changes in buffaloes during the first stage of labor with normal and difficult parturition. *J. Vet. Behav.* 8, 46–50. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2012.04.005>
- Mota-Rojas, D., Nava, A., Villanueva, D, Alonso S.M., 2008. *Perinatología y Ginecobstetricia Animal, enfoques clínicos y experimentales*. Segunda edición. Editorial BM Editores. Ciudad de México. México. p 481.
- Mota-Rojas, D., A. López, J. Martínez-Burnes, R. Muns, D. Villanueva-García, P. Mora-Medina, M. Gonzalez-Lozano,

- A. Olmos-Hernández, and Ramírez-Necoechea R., 2018. Invited review: Is vitality assessment important in neonatal animals? CAB Rev. 13:1–13. CABI. UK.
- Mota-Rojas, D., 2019a. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. CAB Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour. 14. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>. CAB International, UK.
- Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Napolitano, F., Serrapica, F., De Rosa G. et al. 2019b. Capítulo 9. La búfala de agua durante el parto y ordeño: respuestas fisiológicas y conductuales. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 154-191), Segunda edición. México, BM Editores.
- Mota-Rojas, D. Napolitano, F., Sarubbi, J., Braghieri, A., Martínez-Burnes, J., Bertoni, A., Ghezzi, D. et al. 2019c. Capítulo 16. Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja” en Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 512-538), Segunda edición. México, BM Editores.
- Mota-Rojas, D., Ghezzi, M.D.; Sarubbi, J., Napolitano, F., José-Pérez, N., Braghieri, A., Martínez, G.M.; Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I., Barrios, H., Martínez-Burnes, J. 2019d. Capítulo 17. Importancia de la sombra natural o artificial y su efecto en los indicadores fisiológicos y de

comportamiento en el búfalo de agua, bovino europeo y bovino índico. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 539-581), Segunda edición. México, BM Editores.

Mota-Rojas, D., J. Martínez-Burnes, F. Napolitano, M. Domínguez-Muñoz, I. Guerrero-Legarreta, P. Mora-Medina, R. Ramírez-Necoechea, K. Lezama-García, and M. González-Lozano. 2020a. Invited review: Dystocia: Factors affecting parturition in domestic animals. CAB Rev. 15:1–14. CABI. UK.

Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A., Martínez-Burnes, J., Álvarez-Macías, A., Orihuela, A., 2020b. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. J. Anim. Behav. Biometeorol. 9,2103. <https://doi.org/10.31893/jabb.21003>

Munksgaard, L., DePassillé, A., Rushen, J., Herskin, M., Kristensen, A., 2001. Dairy cows' fear of people: social learning, milk yield and behaviour at milking. Appl. Anim. Behav. Sci. 73, 15–26. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00119-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00119-8)

Napolitano, F., Pacelli, C., Grasso, F., Braghieri, A., De Rosa, G., 2013. The behaviour and welfare of buffaloes (*Bubalus bubalis*) in modern dairy enterprises. Animal 7, 1704–1713. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001109>

- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Berdugo-Gutiérrez, J., Álvarez-Macias, A., Mora-Medina, P., Ruíz-Buitrago, J., et al., 2018a. Bienestar de la búfala lechera y su productividad. Sección Aprendamos Juntos de Bienestar animal. <https://bmeditores.mx/secciones-especiales/aprendamos-juntos-del-bienestar-animal>
- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Berdugo-Gutiérrez, J., González-Lozano, M., Mora-Medina, P., Ruíz-Buitrago J., et al., 2018b. El bienestar de la búfala lechera al parto. Pecuarios.com. Sección Ganadería.com. Disponible en: <https://www.ganaderia.com/destacado/El-bienestar-de-la-bufala-lechera-al-parto>.
- Napolitano, F., De Rosa, G., Braghieri, A., Álvarez-Macías, A., Bertoni A., Serrapica, F., 2019. Capítulo 5. Hallazgos recientes sobre la búfala lechera: inventario animal, razas, aspectos reproductivos, de salud y calidad. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 154-191), Segunda edición. México, BM Editores.
- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Braghieri, A., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Cruz-Monterrosa, R., De Rosa, G., 2020a. Factores Productivos y su incidencia en el bienestar de la búfala lechera en sistemas de producción extensivos e intensivos. Soc. Rur. Prod. Med. Amb. 20, (40), 155-173.
- Napolitano F, Arney D, Mota-Rojas D, De Rosa G. 2020b. Chapter 17. Reproductive technologies and animal welfare.

- In: Presicce G, editor. Reproductive technologies in animals. 1st. ed. Italy: S&T Sciences/Elsevier Press; 2020. p. 266.
- Neglia, G., Saltalamacchia, F., Thomas, C.S., Rasmussen, M.D, 2008. Milking management of dairy buffaloes. Milking routines. Bull. Int. Dairy Fed. 426, 69–83.
- Noakes DE, Parkinson TJ, England GCW, A.G., 2001. Parturition and the care of parturient animals, in: Noakes DE, P.T. (Ed.), Arthur's Veterinary Reproduction and Obstetrics. Elsevier, England GCW, pp. 155–187. <https://doi.org/10.1016/B978-070202556-3.50010-4>
- Oviedo-Boyso, J., Valdez-Alarcón, J.J., Cajero-Juárez, M., Ochoa-Zarzosa, A., López-Meza, J.E., Bravo-Patiño, A., Baizabal-Aguirre, V.M., 2007. Innate immune response of bovine mammary gland to pathogenic bacteria responsible for mastitis. J. Infect. 54, 399–409. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2006.06.010>
- Orihuela, A., Mota-Rojas, D., Ungerfeld, R., Napolitano, F., Strappini, A., De Rosa, G., Braghieri, A., Mora-Medina, P., 2019. Capítulo 12. Mecanismos neurofisiológicos de la impronta en la búfala y otros animales de granja. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 380-425), Segunda edición. México, BM Editores.
- Pankaj Kumar, ML Kamboj, S.C. and R.K., Singh, 2017. Effect of calf suckling dummy calf used and weaning on milk ejection stimuli and milk yield of Murrah buffaloes (*Bubalus*

- bubalis*). J. Pharmacogn. Phytochem. SP1, 1012–1015.
- Pereira, R. da R., Franco, S.C., Baldin, N., 2011. Pain and the Protagonism of Women in Parturition. Brazilian J. Anesthesiol. 61, 376–388. [https://doi.org/10.1016/S0034-7094\(11\)70045-9](https://doi.org/10.1016/S0034-7094(11)70045-9)
- Petzl, W., Zerbe, H., Günther, J., Yang, W., Seyfert, H.-M., Nürnberg, G., Schuberth, H.-J., 2008. *Escherichia coli*, but not *Staphylococcus aureus* triggers an early increased expression of factors contributing to the innate immune defense in the udder of the cow. Vet. Res. 39, 18. <https://doi.org/10.1051/vetres:2007057>
- Pisanu, S., Cacciotto, C., Pagnozzi, D., Puggioni, G.M.G., Uzzau, S., Ciaramella, P., Guccione, J., Penati, M., Pollera, C., Moroni, P., Bronzo, V., Addis, M.F., 2019. Proteomic changes in the milk of water buffaloes (*Bubalus bubalis*) with subclinical mastitis due to intramammary infection by *Staphylococcus aureus* and by non-aureus staphylococci. Sci. Rep. 9, 15850. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52063-2>
- Polikarpus, A., Grasso, F., Pacelli, C., Napolitano, F., De Rosa, G., 2014a. Milking behaviour of buffalo cows: Entrance order and side preference in the milking parlour. J. Dairy Res. 81, 24–29. <https://doi.org/10.1017/S0022029913000587>
- Polikarpus, A., Napolitano, F., Grasso, F., Di Palo, R., Zicarelli, F., Arney, D., De Rosa, G., 2014b. Effect of pre-partum habituation to milking routine on behaviour and lactation

- performance of buffalo heifers. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 161, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.10.003>
- Polikarpus, A., Kaart, T., Mootse, H., De Rosa, G., Arney, D., 2015. Influences of various factors on cows' entrance order into the milking parlour. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 166, 20–24. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.02.016>
- Prelle, I., Phillips, C.J., da Costa, M.J.P., Vandenberghe, N., Broom, D., 2004. Are cows that consistently enter the same side of a two-sided milking parlour more fearful of novel situations or more competitive? *Appl. Anim. Behav. Sci.* 87, 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.01.014>
- Proudfoot, K.L., Jensen, M.B., Heegaard, P.M.H., von Keyserlingk, M.A.G., 2013. Effect of moving dairy cows at different stages of labor on behavior during parturition. *J. Dairy Sci.* 96, 1638–1646. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6000>
- Punia, BS, Singh, S., 2001. Buffalo calf feeding and managemen. *Buffalo Bull.* V 20, 3.
- Purohit, G.N., Barolia, Y., Shekhar, C., Kumar, P., 2011. Maternal dystocia in cows and buffaloes: A Review. *Open J. Anim. Sci.* 01, 41–53. <https://doi.org/10.4236/ojas.2011.12006>
- Purohit, G.N., Kumar, P., Solanki, K., Shekher, C., Yadav, S.P., 2012. Perspectives of fetal dystocia in cattle and buffalo. *Vet. Sci. Dev.* 2, 8. <https://doi.org/10.4081/vsd.2012.3712>
- Rainard, P., Riollot, C., 2006. Innate immunity of the bovine

- mammary gland. Vet. Res. 37, 369–400.
<https://doi.org/10.1051/vetres:2006007>
- Raja, S.N., Carr, D.B., Cohen, M., Finnerup, N.B., Flor, H., Gibson, S., Keefe, F.J., Mogil, J.S., Ringkamp, M., Sluka, K.A., Song, X.-J., Stevens, B., Sullivan, M.D., Tutelman, P.R., Ushida, T., Vader, K., 2020. The revised International Association for the Study of Pain definition of pain. Pain Publish Ah.
<https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001939>
- Rasmussen, D.B., Fogsgaard, K., Røntved, C.M., Klaas, I.C., Herskin, M.S., 2011. Changes in thermal nociceptive responses in dairy cows following experimentally induced *Escherichia coli* mastitis. Acta Vet. Scand. 53, 32.
<https://doi.org/10.1186/1751-0147-53-32>
- Restucci, B., Dipineto, L., Martano, M., Balestrieri, A., Ciccarelli, D., Russo, T.P., Varriale, L., Maiolino, P., 2019. Histopathological and microbiological findings in buffalo chronic mastitis: Evidence of tertiary lymphoid structures. J. Vet. Sci. 20, 1–14. <https://doi.org/10.4142/jvs.2019.20.e28>
- Rørvang, M.V., Herskin, M.S., Jensen, M.B., 2018. The motivation-based calving facility: Social and cognitive factors influence isolation seeking behaviour of Holstein dairy cows at calving. PLoS One 13, e0191128.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191128>
- Rushen, J., Munksgaard, L., Marnet, P., DePassillé, A., 2001. Human contact and the effects of acute stress on cows at milking. Appl. Anim. Behav. Sci. 73, 1–14.

- [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00105-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00105-8)
- Saltalamacchia, F., Tripaldi, C., Castellano, A., Napalitano, F., Musto, M., De Rosa, G., 2007. Human and animal behaviour in dairy buffalo at milking. *Anim. Welf.* 16, 139–142.
- Sathya, A., Prabhakar, S., Sangha, S.P.S., Ghuman, S.P.S., 2007. Vitamin E and Selenium Supplementation Reduces Plasma Cortisol and Oxidative Stress in Dystocia-Affected Buffaloes. *Vet. Res. Commun.* 31, 809–818. <https://doi.org/10.1007/s11259-007-0116-2>
- Schuenemann, G.M., Nieto, I., Bas, S., Galvão, K.N., Workman, J., 2011. Assessment of calving progress and reference times for obstetric intervention during dystocia in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94, 5494–5501. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4436>
- Siivonen, J., Taponen, S., Hovinen, M., Pastell, M., Lensink, B.J., Pyörälä, S., Hänninen, L., 2011. Impact of acute clinical mastitis on cow behaviour. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 132, 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.04.005>
- Tanamati, F., Stafuzza, N.B., Gimenez, D.F.J., Stella, A.A.S., Santos, D.J.A., Ferro, M.I.T., Albuquerque, L.G., Gasparino, E., Tonhati, H., 2019. Differential expression of immune response genes associated with subclinical mastitis in dairy buffaloes. *animal* 13, 1651–1657. <https://doi.org/10.1017/S1751731118003324>
- Taverne, M.A.M., 1992. Physiology of parturition. *Anim. Reprod. Sci.* 28, 433–440. <https://doi.org/10.1016/0378->

4320(92)90130-6

- Thomas, C.S., Nordstrom, J., Svennersten-Sjaunja, K., Wiktorsson, H., 2005. Maintenance and milking behaviours of Murrah buffaloes during two feeding regimes. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 91, 261–276.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.11.002>
- Titler, M., Maquivar, M.G., Bas, S., Rajala-Schultz, P.J., Gordon, E., McCullough, K., Federico, P., Schuenemann, G.M., 2015. Prediction of parturition in Holstein dairy cattle using electronic data loggers. *J. Dairy Sci.* 98, 5304–5312.
<https://doi.org/10.3168/jds.2014-9223>
- Tonhati H, M M Céron, J A Oliveira, JMC Duarte, TP Furtado, S.T., 2000. Parâmetros genéticos para a produção de leite, gordura e proteína em bubalinos. *Rev. Bras. Zootec* 29, 2051–2056.
- von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., 2007. Maternal behavior in cattle. *Horm. Behav.* 52, 106–113.
<https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.03.015>
- Wehrend, A., Hofmann, E., Failing, K. and Bostedt, H., 2006. Behaviour during the first stage of labour in cattle: Influence of parity and dystocia. *Applied Animal Behaviour Science*, 100(3-4), pp.164-170.
- Yadav AK, Pramanik PS, K.S., 2009. Dam-calf interactions in Murrah buffaloes upto six hours post-parturition. *Indian J. Anim. Prod. Manag.* 25, 78–80.
- Yeiser, E.E., Leslie, K.E., McGilliard, M.L., Petersson-Wolfe, C.S., 2012. The effects of experimentally induced

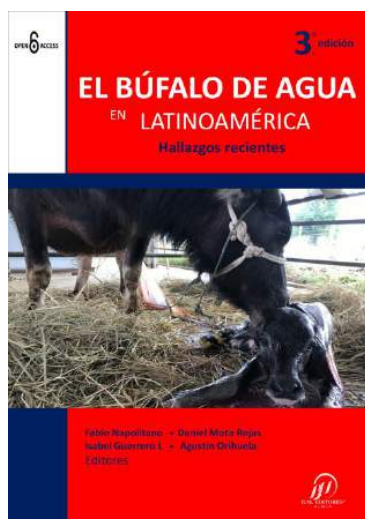
Escherichia coli mastitis and flunixin meglumine administration on activity measures, feed intake, and milk parameters. J. Dairy Sci. 95, 4939–4949. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5064>



CAPÍTULO 13

PERINATOLOGÍA Y GINECOBSTETRICIA DE LA BÚFALA DE AGUA

Fabio Napolitano, Daniel Mota-Rojas, Julio Martínez-Burnes, Giuseppe De Rosa, Danilda Hufana-Duran, Ada Braghieri, Miguel González-Lozano, Antonio Di Francia, Francesco Serrapica y Agustín Orihuela



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 13

Perinatología y ginecobstetricia de la búfala de agua

Fabio Napolitano¹, Daniel Mota-Rojas², Julio Martínez-Burnes³, Giuseppe De Rosa⁴, Danilda Hufana-Duran⁵, Ada Braghieri¹, Miguel González-Lozano⁶, Antonio Di Francia⁴, Francesco Serrapica⁴ y Agustín Orihuela⁷

¹*Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.*

²*Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México.*

³*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México.*

⁴*Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici, Naples, Italia.*

⁵*Philippine Carabao Center Headquarters and National Gene Pool Science City of Muñoz, Nueva Ecija. Filipinas.*

⁶*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. México.*

⁷*Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.*

INTRODUCCIÓN

En varios países en desarrollo, el búfalo (*Bubalus bubalis*) representa una especie importante para la producción de carne y lácteos, así como la generación de energía de tiro y transporte, constituyendo un recurso sustancial en la economía doméstica de algunas regiones. En cuanto a los sistemas productivos de búfalos, predominan los extensivos. Sin embargo, los sistemas intensivos también están creciendo en otros países con perspectivas importantes como una industria atrayente y rentable.

La resistencia a las enfermedades, la capacidad de adaptarse a diversas condiciones climáticas, la digestibilidad de los pastos de baja



calidad, su velocidad de crecimiento, y el aumento de peso corporal en los búfalos muestra su versatilidad y capacidad para contribuir positivamente a una producción ganadera sostenible (Naveena y Kiran, 2014; Guerrero-Legarreta et al., 2018; Bertoni et al., 2019).

Un descenso en la eficiencia productiva y reproductiva en búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) representa un factor de riesgo para los ganaderos, veterinarios y zootecnistas dedicados a la producción bufalina, por lo que la búsqueda de estrategias para modificar o mejorar los métodos de manejo, producción y reproducción es un desafío (Napolitano et al., 2018a,b, Napolitano et al., 2019).

Dentro del aspecto reproductivo, una de las fases más importantes es el parto. Éste, en ganado doméstico del género *Bos* y *Bubalus* incluye tres fases: la fase preparto e inicio del parto, el parto o la expulsión de terneros y la expulsión de las membranas fetales. El parto representa para la madre y su cría (becerro) un período crucial (Agrawal et al., 1978; Schuenemann et al., 2011; Barrier et al., 2012), marcado por una serie de alteraciones hormonales, de comportamiento y físicas. La identificación e interpretación de los signos clínicos que predicen el inicio del parto es clave, ya que algunas búfalas pueden experimentar distocia (Shukla et al., 2008; Streyl et al., 2011; Mota-Rojas et al., 2019b,c).

La predicción precisa del inicio del parto es por lo tanto crítica para el bienestar de las búfalas y de los becerros, ya que puede garantizar la

oportuna intervención obstétrica. En la literatura científica existe escasa información sobre la inducción del parto en búfalos, por lo que los ganaderos dependen principalmente de su experiencia clínica y de algunos informes sobre los métodos utilizados para inducir el parto en el ganado doméstico lechero del género *Bos*, asumiendo que son igualmente aplicables a los búfalos (Rabidas et al., 2015).

La frecuencia de la distocia en algunos hatos de búfalos puede ser alta y causar una mortalidad significativa en los recién nacidos. Por lo tanto, es necesario analizar el repertorio conductual de primerizas y multíparas en la etapa perinatal, considerar los factores predisponentes e identificar las señales necesarias de cuando el parto eutócico podría tornarse distócico (Murty et al., 1999; Nanda et al., 2003; Amin et al., 2011; Mota-Rojas et al., 2019b,c; Napolitano et al., 2020a,b).

Khan et al. (2009), analizaron la incidencia de partos anormales en búfalos y encontraron que ésta oscilaba entre el 5.6-12.6% en búfalas Murrah, el 8.94% en Jafarabadi y entre el 4.6 y el 5.4% en el búfalo Surti. Las anteriores cifras de incidencia de distocia en búfalas son menores a las descritas en bovinos Holstein con 10.8% y 16% en primíparas (Atashi et al. 2012).

Las razones de una incidencia baja de partos problemáticos o asociados a complicaciones obstétricas en el búfalo, podrían deberse a

diferencias anatómicas entre el ganado doméstico del género *Bos* y el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) (Purohit et al., 2012). Los búfalos tienen una pelvis más amplia, un área mayor del íleon, una quinta vértebra sacra libre y fácilmente separable (Kodagali, 2003), un canal vaginal que, aunque es pequeño, se dilata fácilmente y labios vulvares alargados y muy separados (Agarwal y Tomer, 1998). Estas diferencias anatómicas propician que la primera y la segunda etapa del parto en la búfala se pueden completar fácilmente entre 20 a 70 min (Mody et al., 2002; Purohit et al., 2012).

A pesar de su incidencia relativamente baja, la distocia se acompaña de mortalidad, afectando el bienestar de la cría y la economía del productor, por lo que el objetivo del presente capítulo es dar a conocer las principales complicaciones durante la distocia en búfalas, abordando temas relacionados con torsión uterina, cesárea, prolapsos vaginales y uterinos; así como la retención de membranas placentarias. Todo esto con la intención de dar a conocer el alcance e información existente en ginecobstetricia de la búfala de agua (**Figura 1**).

DURANTE EL PARTO NORMAL

Debido a que el proceso del parto es doloroso para las búfalas y vacas, éstas se vuelven notablemente inquietas justo antes del parto. Quizás este estado de considerable incomodidad es lo que las lleva a

permanecer erguidas antes del parto (Huzzey et al. 2005; Napolitano et al., 2018b). Además, inmediatamente después del parto, deben iniciar el contacto físico con el ternero para identificarlo y alimentarlo. Por estas razones, normalmente permanecen en pie durante la fase inicial postparto para facilitar la succión adecuada de la cría.

DISTOCIA

En el presente capítulo se comenta muy brevemente sobre los efectos adversos de las iatrogenias. Cabe resaltar que la falta de información en ginecobstetricia en búfalas permite que se incremente el error humano, favoreciendo las distocias. Algunos ejemplos comunes son: la repetición obstétrica séptica, uso de cuerdas sépticas para jalar al feto, uso y abuso de aceleradores del parto; pero sobre todo la falta de experiencia para identificar el momento oportuno de la intervención obstétrica. En la figura 1 podrá encontrar un resumen de los factores materno-fetales que predisponen a distocia en búfalas.

Las observaciones conductuales son clave para identificar el momento oportuno de cuando un parto normal se torna distócico. Las búfalas que experimentan distocia por lo general se muestran inquietas, a menudo patean el suelo, observan su región abdominal y encorvan la espalda (Derar y Abdel-Rahman, 2012).

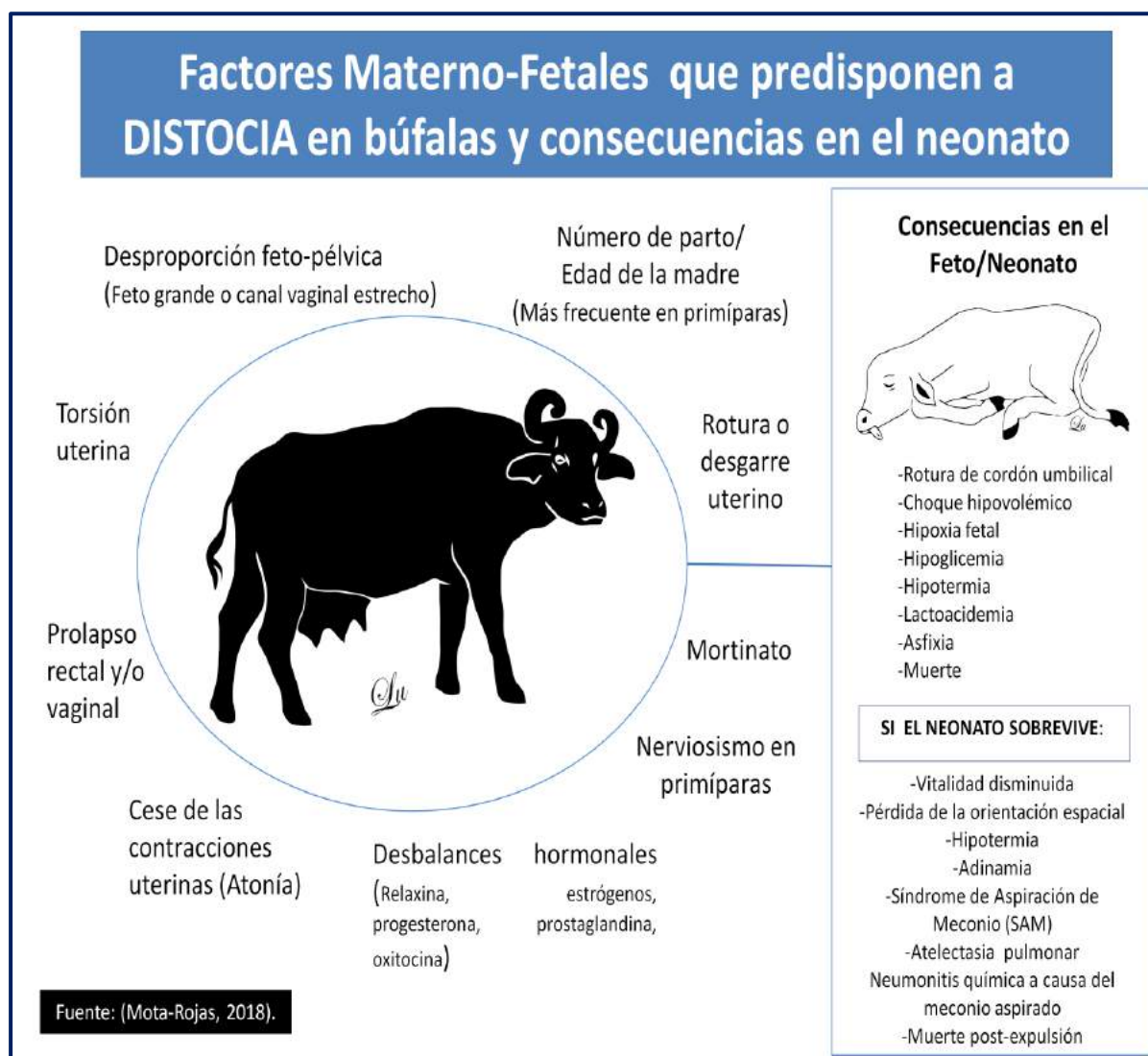


Figura 1. Variables que propician distocia y efectos adversos sobre el feto o neonato. La dificultad para parir puede estar mediada por un gran número de factores que pueden ser de origen materno, fetal o incluso iatrogénico. Esto último propiciado por el personal a cargo, como el uso repetido y séptico de la manipulación obstétrica, la intervención inoportuna, el abuso de aceleradores del parto, y primordialmente el desconocimiento del proceso normal del parto (Mota-Rojas et al., 2008; Mota-Rojas, et al., 2019a,b,c).

Estudios realizados en búfalas primíparas (novillas) y multíparas con evidencia de distocia revelan que además de un pulso y frecuencia respiratoria anormalmente altos en la primera etapa del parto en comparación con las búfalas con partos normales (eutócicos), también

presentan niveles de cortisol significativamente elevados (Derar y Abdel-Rahman, 2012); biomarcadores que indican estrés agudo (segundos o minutos) y crónico (horas) causados por distocia. Además, se produce una secreción significativa de ACTH, que estimula a la corteza suprarrenal aumentando la producción de glucocorticoides, incluido el cortisol (McDonald, 1969; Burchfield et al., 1980; Stephens, 1980; Kindahl et al., 2002). Analizar estos problemas es clave porque la distocia en búfalos puede causar mortalidad entre los recién nacidos (Mohammad y Abdel Rahman, 2013). En el estudio de Mohammad y Abdel Rahman (2013), se consideró distocia si después de un periodo de 2 horas de la rotura de los sacos fetales, el producto no era expulsado.

En bovinos y en otros mamíferos, cuando el feto no puede ser expulsado se provoca una acidosis severa debido a la deficiencia de oxígeno y un pH sanguíneo bajo, efectos que pueden deteriorar el rendimiento de los órganos vitales del neonato y ocasionar daños neuronales, reduciendo la vitalidad general y la tasa de supervivencia (Meijering, 1984; Mota-Rojas et al., 2008; Mota-Rojas et al., 2019b; González-Lozano et al., 2020).

En las madres, la distocia produce también numerosas repercusiones. En búfalas con distocia, Jadon et al. (2005) demostraron que la incidencia de bacterias anaerobias obligadas combinadas con *Actinomyces pyogenes* alcanza su nivel máximo durante el parto.

Así mismo, en partos donde hay complicaciones, se incrementa la manipulación obstétrica, regularmente séptica, que pueden llevar a los microorganismos patógenos a colonizar la vagina y el útero, lo que podría causar vaginitis y metritis puerperal, especialmente cuando se presenta torsión uterina (Singh y Nanda, 1996), lo que predispone a infecciones uterinas posparto (Jadon et al., 2005; Singh et al., 1997).

TORSIÓN UTERINA

Una causa severa y particularmente común de distocia en vacas (bovinos domésticos del género *Bos*) (Noakes et al., 2009) y búfalos (*Bubalus*) (Khatri et al., 1986; Murty et al., 1999; Nanda et al., 2003; Amin et al., 2011) es la torsión uterina. Esta situación pone en peligro la supervivencia del feto y de la madre. La torsión uterina por lo general se presenta hacia el final de la gestación, cuando el útero grávido puede girar a lo largo de su eje longitudinal, causándole una compresión vascular grave (Roberts, 1986; Noakes et al., 2009; Frazer y Perkins 1996; Aubry et al., 2008; Mota-Rojas et al., 2008; Mota-Rojas et al., 2020). Varios autores proponen que la torsión uterina puede favorecerse por la presencia de fetos machos de tamaño especialmente grande (Baker, 1988; Frazer y Perkins, 1996; Noakes et al. 2009). Una segunda posible explicación para la incidencia de torsión uterina es la baja cantidad de líquido amniótico para las dimensiones del feto y el útero (Schonfelder y Sobiraj, 2005) (**Figura 2**).

Algunos indicadores concomitantes a los signos clínicos de la torsión uterina en los búfalos pueden ser la anemia normocítica normocrómica y la leucocitosis, con neutrofilia y monocitosis como hallazgos asociados comunes (Amer y Hashem, 2008). En el análisis bioquímico del plasma sanguíneo pueden encontrarse también alteraciones sustanciales en los niveles de Lactato Deshidrogenasa (LDH), nitrógeno ureico en sangre, albúmina, creatinina y glucosa (Purohit et al., 2013).

Las tasas de mortalidad fetal y materna en vacas (bovino doméstico del género *Bos*) y búfalas (*Bubalus bubalis*) que sufren torsión uterina, varían ampliamente dependiendo del grado y duración de la torsión (Frazer y Perkins 1996; Amin et al., 2011; Amer et al., 2008). Si la torsión no se resuelve oportunamente, es probable que se produzca un infarto hemorrágico debido a la creciente severidad de la oclusión o compresión arterial (Noakes et al., 2009; Shadinger et al., 2008).

El útero de las búfalas tiene rasgos específicos que podrían predisponerlo a girarse o doblarse al final de la gestación. El primero es que los fetos de búfalo tienden a ser más pesados que los fetos lecheros del género *Bos*; el segundo, es la baja relación entre el líquido amniótico con respecto al tamaño fetal (Amer et al., 2008) (**Figura 2**). En estas condiciones, los movimientos bruscos del feto pueden favorecer que el útero se doble o se rote.

Para complicar más las cosas, la torsión puede ocurrir justo antes del término de la preñez y puede ser difícil de diagnosticar debido a la ausencia de signos clínicos definitivos. Esto significa que podría transcurrir mucho tiempo antes de que la afección se diagnostique con precisión. Finalmente, existe evidencia de que esta condición puede afectar adversamente las funciones hepáticas y renales de la madre (Ali et al., 2011).

CESÁREA

La cesárea es la extirpación quirúrgica del feto. Esta técnica se usa a menudo en emergencias, cuando se presentan distocias y se han agotado todas las posibilidades para extraer al feto. El dilema entre optar por la fetotomía frente a la cesárea gira en torno a las bajas tasas de supervivencia de las madres y los efectos sobre su fertilidad futura en el caso de la cesárea (Singh et al., 2013).

En casos de torsión uterina no resueltos, la cesárea es una práctica común. Una segunda afección que puede llevar a tomar la decisión de practicar una cesárea involucra fetos de gran tamaño o malformados que causan un parto vaginal difícil debido a la desproporción feto-pélvica. En estos casos, no hay más remedio que realizar una cesárea. Anomalías fetales como la hidrocefalia, la ascitis y la anasarca son la tercera causa más frecuente para recurrir a la cirugía.

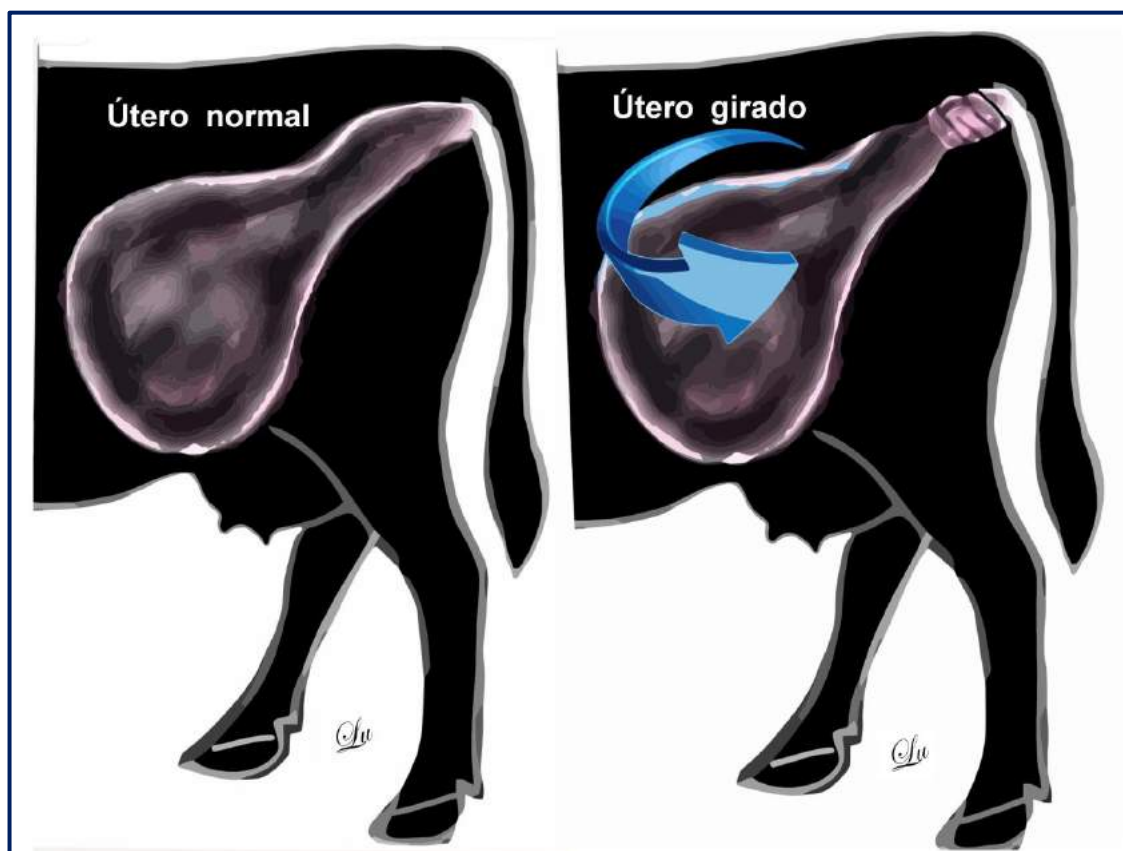


Figura 2. Torsión uterina en búfalas. La torsión uterina es una causa frecuente de distocia, que además es difícil de diagnosticar debido a la ausencia de signos clínicos típicos, lo que representa un alto riesgo para la supervivencia del feto y la madre (Hussein et al., 2013). El útero de las búfalas tiene rasgos específicos que podrían predisponerlo a doblarse o girarse al final de la gestación. Entre las causas más comunes de torsión uterina se encuentra que los fetos de búfala (*Bubalus bubalis*) tienden a ser más pesados que los neonatos de vacas lecheras (género *Bos*) y a una desproporción entre la cantidad de líquido amniótico respecto al tamaño fetal (Amer et al., 2008).

Curiosamente, mientras que las cesáreas se han realizado durante siglos en muchos lugares, la literatura científica contiene solo descripciones poco detalladas de la técnica. Por ejemplo, en bovinos, Frazer y Perkins (1995) mencionan el uso de analgesia local con lidocaína al 2% (Norbrook Laboratories) mientras la vaca estaba

parada. La dosis de 10 mg/kg se administró por infiltración lineal en su flanco izquierdo antes de proceder a la cirugía. La rotación de la vaca es un procedimiento alternativo que también se utiliza buscando solucionar la torsión uterina. Los primeros estudios de Roberts (1986), explican que el método consiste en colocar a la vaca en posición lateral, reclinada en la dirección de la torsión, sobre una pendiente ligeramente inclinada y amortiguada con paja. Acto seguido se coloca un tablón de tamaño y forma adecuados en su flanco, y una persona de alrededor de 75 kg se coloca sobre el tablón mientras la vaca avanzaba lentamente en la dirección de la torsión. Estos mismos autores mencionan que algunas veces fue necesario repetir el procedimiento para resolver completamente la torsión (Ali et al., 2011). La etapa de gestación es un factor importante al elegir el mejor método para corregir la torsión, ya que la rotación fue más efectiva en casos de gestación a término completo y en algunos otros de preñez tardía (Frazer y Perkins, 1995).

PROLAPSO RECTAL Y VAGINAL

Otro problema reproductivo importante en los búfalos es el prolapso vaginal previo al parto (Azawi, 2010). Este trastorno puede involucrar factores etiológicos atribuibles a una alimentación inadecuada (Ahmed et al., 2005), fallas hormonales (Galhotra et al., 1991), factores de manejo estacional (Akhtar et al., 2010), o predisposición genética (Nanda y Sharma, 1982).

Los niveles altos de estrógenos y la secreción de relaxina pueden distender y relajar excesivamente los ligamentos pélvicos y las estructuras de tejidos blandos cercanos (Wolfe, 2009). Así como también niveles bajos de progesterona (Zicarelli, 2000) en búfalas están asociados con prolapso vaginal (**Figura 3**).

Samad et al. (1987) encontraron prevalencias extremadamente altas (43%) de prolapsos en búfalos. Algunos investigadores sospechan que los partos forzados pueden ser un factor etiológico adicional involucrado (Noakes et al., 2001). En dichos estudios, los autores supusieron que la hipocalcemia podría ser en parte responsable del prolapso o también la cistitis y administraron suplementos de calcio y fósforo una vez por infusión intravenosa lenta (450 ml de Mifex, Novartis®)(Kumar et al., 2015). Sin embargo, aunque hubo una ligera mejoría, el prolapso continuó hasta que se administró tratamiento antibiótico vía intrauterina e intravesical y controló el problema.

RETENCIÓN DE MEMBRANAS FETALES

En las vacas lecheras domésticas del género *Bos*, la frecuencia media de retención placentaria varía de 4 a 18% (Han y Kim, 2005), aunque otros estudios describen cifras muy por encima de los límites normales (hasta 33.33%). Peters y Poole (1991) y Kask et al. (2000) encontraron índices aumentados de retención placentaria en vacas lecheras cuando se indujo el parto con prostaglandina F2 alfa.



Figura 3. Propaso vaginal en búfalas (Imágenes vectorizadas). A la izquierda se aprecia vulva edematosa y turgente resultado del pico hormonal de estrógenos y presencia de relaxina, en preparación para la expulsión del becerro. A la derecha se aprecia el prolapso vaginal, cuyas posibles causas pudieran ser: la reducción del nivel de calcio plasmático o predisposición genética. El prolapso de la pared vaginal posterior ocurre al debilitarse la pared delgada de tejido que separa el recto de la vagina, provocando que la pared vaginal sobresalga. El prolapso vaginal posterior también se denomina rectocele.

La alta incidencia de retención placentaria puede atribuirse a la falta de tono, a la involución lenta o el daño al útero debido al estrés mecánico ejercido durante los partos difíciles (Klerx y Smolders, 1997) (**Figura 4**). La retención de las membranas fetales también se asocia con distocia (Erb et al., 1985), quizás debido a que las gestaciones cortas pueden evitar que la placenta madure adecuadamente. La mortalidad fetal puede ocurrir en estas condiciones porque la placenta se separa prematuramente. Lo que, además, aunado a una mayor frecuencia de inercia uterina o cese de las contracciones uterinas, eleva la predisposición a la manipulación obstétrica séptica (Rabidas et

al., 2015). Si bien, los periodos de gestación más cortos se relacionan con frecuencias más altas de este trastorno, el sexo del feto no ha mostrado ninguna relación con la retención placentaria (Mota-Rojas et al., 2008; Mota-Rojas et al., 2019b).



Figura 4. Retención placentaria (RP) en búfalas (Imagen vectorizada). La RP es la incapacidad de expulsar las membranas fetales durante la tercera etapa del trabajo de parto y constituye una complicación postparto frecuente en rumiantes, en particular en vacas domésticas del género *Bos*.

Por otra parte, existen diferentes daños colaterales en las hembras que llegan a presentar los trastornos mencionados. En un estudio en vacas japonesas (Japanese Black cows), Sasaki et al. (2014) encontraron índices de concepción más bajos en casos de distocia y mortinatos, en comparación con las madres que tenían partos

normales. Una reducción de la tasa de fertilidad se puede asociar con muerte fetal (Bicalho et al., 2008; Maizon et al., 2004; Hearnshaw et al., 1984), tasas más altas de retención placentaria, metritis (Bicalho et al., 2007), o partos asistidos, lo que puede acarrear intervalos mas largos entre partos y mayor número de días abiertos (Mota-Rojas et al., 2008; Sasaki et al., 2014).

CONSIDERACIONES FINALES

La eficiencia productiva y principalmente reproductiva del búfalo de agua es un desafío para los ganaderos y profesionales, que requiere un conocimiento profundo de los problemas reproductivos en el parto. La distocia en búfalas puede ocasionar mortalidad neonatal con pérdidas económicas, no solo por la mortalidad de terneros sino también por la reducción de la productividad de las búfalas, lo que reduce la rentabilidad de las unidades de producción. Sus causas incluyen: la torsión uterina y el prolapso vaginal *prepartum*. La retención placentaria puede ocurrir, y la incidencia de infección uterina clínica o subclínica tiene la misma relevancia en búfalos que en los bovinos domésticos y no debe ser descartada ya que afecta la tasa de fertilidad. La comprensión de la fisiología, el comportamiento y los signos de nacimiento pueden favorecer los nacimientos eutócicos y reducir y acotar las distocias.

REFERENCIAS

- Agarwal, S.K., Tomer, O.S., 1998. Reproductive Technologies in the Buffaloes. Indian Veterinary Research Institute, Izatnagar, India.
- Agrawal, K.P., Raizada, B.C., Pandey, M.D., 1978. Postparturient changes in the uterus of buffalo cows. *Indian J. Anim. Sci.* 47, 492–503.
- Ahmed, S.I., Ahmad, I., Lodhi, L.A., Ahmad, N.A., Samad, H.A., 2005. Clinical, haematological and serum macro mineral contents in buffaloes with genital prolapse. *Pak. Vet. J.* 25, 167-170.
- Akhtar, M.S., Lodhi, L.A., Ahmad, I., Qureshi, Z.I., Muhammad, G., 2010. Incidence of pre-partum vaginal prolapse two different agro-ecological zones of Punjab, Pakistan, *Rev. Vet.* 21, 785-788.
- Ali, A., Derar, R., Hussein, H.A., Abd Ellah, M.R.A., Abdel-Razek, A.K., 2011. Clinical, hematological, and biochemical findings of uterine torsion in buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Anim. Reprod. Sci.* 126, 168-172.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2011.05.005>
- Amer, H.A, Hashem, M.A., Badr, A., 2008a. Uterine twisting during pregnancy in buffaloes: relationship between clinical findings and biochemical indices. *J. Appl. Biol. Sci.* 2, 31–39.

- Amer, H.A., Hashem, M.A. 2008b. Relationship between clinical and biochemical picture of uterine torsion in Egyptian Buffaloes (*Bubalus bubalis*). *The Int. J. Vet. Med.* 4, 1-7.
- Amin, S.M., Amer, H.A., Hussein, A.E., Hazzaa, A.M., 2011. Creatine phosphokinase and aspartate aminotransferase profiles and its relation to the severity of uterine torsion in Egyptian buffalo. *Anim. Reprod. Sci.* 123, 163–168. [10.1016/j.anireprosci.2010.12.002](https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.12.002).
- Atashi, H., Abdolmohammadi, A., Dadpasand, M., Asaadi, A., 2012. Prevalence, risk factors and consequent effect of dystocia in Holstein dairy cows in Iran. *Asian-australas. J. Anim. Sci.* 25, 447–451. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11303>.
- Aubry, P., Warnick, L.D., DesCôteaux, L., Bouchard, E., 2008. A study of 55 field cases of uterine torsion in dairy cattle. *Can. Vet. J.* 49, 366–72.
- Azawi, O., 2010. Uterine infection in buffalo cows: a review. *Buffalo Bull.* 29, 154-171.
- Baker, I., 1988. Torsion of the uterus in the cow. *In Practice.* 10, 26. <http://dx.doi.org/10.1136/inpract.10.1.26>.
- Barrier, A.C., Haskell, M.J., Macrae, A.I., Dwyer, C.M., 2012. Parturition progress and behaviours in dairy cows with calving difficulty. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 139, 209–217. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2012.03.003>.

- Bertoni, M.A., Álvarez Macías, A.G., Mota-Rojas, D., 2019. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. *Soc. Rural Prod. Med. Amb.* 38, 59-80.
- Bicalho, R.C., Galvao, K.N., Cheong, S.H., Gilbert, R.O., Warnick, L.D., Guard, C.L., 2007. Effect of stillbirth on dam survival and reproduction performance in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 2797-803. Doi: 10.3168/jds.2006-504.
- Bicalho, R.C., Galvao, K.N., Warnick, L.D., Guard, C.L., 2008. Stillbirth parturition reduces milk production in Holstein cows. *Prev. Vet. Med.* 84, 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.11.006>.
- Derar, D.R.I., Abdel-Rahman, M.A., 2012. A comparative study on behavioral, physiological and adrenal changes in blood cortisol of buffalo during actual labour. *Buffalo Bull.* 31, 129-135.
- Erb, H.N., Smith, R.D., Oltenacu, P.A., Guard, C.L., Hillman, R.B., Powers, P.A., et al. 1985. Path model of reproductive disorders and performance, milk fever, mastitis, milk yield and culling in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 68, 3337- 49. Doi: 10.3168/jds.S0022-0302(85)81244-3.
- Frazer, G.S., Perkins, N.R., 1995. Cesarean section. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 11, 19–35. doi: 10.1016/s0749-0720(15)30507-7.

- Frazer, G.S., Perkins, N.R., Constable, P.D., 1996. Bovine uterine torsion: 164 hospital referral cases. *Theriogenology*. 46:739-758. doi: 10.1016/s0093-691x(96)00233-6.
- Galhotra, M.M., Georgie, G.C., Dixit, V.P., 1991. FSH, LH and prolactin in antepartum vaginal prolapse of buffaloes (*Bubalus bubalis*) in relation to cortisol and degree of stress. *Indian Vet. J.* 68, 332-335.
- González-Lozano, M., Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Martínez-Burnes, J., Di Francia, A., Braghieri A., Berdugo, J., Mora-Medina, P., Ramírez, R., Napolitano, F., Behavioral, physiological and reproductive performance in buffaloes during eutocic and dystocic parturitions. *Appl. Anim. Sci.* 36,407–422.
- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R., Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J., 2018. El Búfalo de Agua: versátil, rústico y sostenible como productor de carne. https://www.researchgate.net/publication/332547369_El_bu_falo_de_agua_versatil_rustico_y_sostenible_como_productor_de_carne_Agro_Meat_Argentina_20181-10.
- Han, I.K., Kim, I.H., 2005. Risk factors for retained placenta and the effect of retained placenta on the occurrence of postpartum diseases and subsequent reproductive performance in dairy cows. *J. Vet. Sci.* 6, 53-59.
- Hearnshaw H, Barlow R, Darnell R. 1984. Factors affecting calving difficulty and calf mortality of Hereford and Hereford cross

- cattle. In: Proceeding of the 4th conference, association for advancement of animal breeding and genetics. South Australia, Australia: University of Adelaide, p. 106e7.
- Hussein, H.A., 2013. Validation of color Doppler ultrasonography for evaluating the uterine blood flow and perfusion during late normal pregnancy and uterine torsion in buffaloes. *Theriogenology*. 79, 1045–1053. Doi: 10.1016/j.theriogenology.2013.01.021.
- Huzzey, J.M., Von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., 2005. Changes in feeding, drinking, and standing behavior of dairy cows during the transition period. *J Dairy Sci*. 88, 2454–2461. Doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72923-4.
- Jadon, R.S., Dhaliwal, G.S., Jand, S.K., 2005. Prevalence of aerobic and anaerobic uterine bacteria during peripartum period in normal and dystocia-affected buffaloes. *Anim. Reprod. Sci*. 88, 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.12.006>.
- Kask, K., Gustafsan, H., Gunnarsson, A., Kindahl, H., 2000. Induction of parturition with prostaglandin F2 α as a possible model to study impaired reproductive performance in the dairy cow. *Anim. Reprod. Sci*. 59, 129-139. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00119-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00119-6).
- Khan, H.M., Bhakat, M., Mohanty, T.K., Gupta, A.K. Raina, V.S., Mir, M.S., 2009. Peripartum reproductive disorders in buffaloes - an overview. *Vet. Scan*. 4, 1-10.

- Khatri, C.K., Khar, S.K., Singh, J., Luthra, R.A., 1986. Changes in biochemical and blood constituents of buffaloes with uterine torsion and the effect of caesarean section and certain post operative therapeutic measures. *Arch Exp. Vet. Med. Leipzig*. 40, 461.
- Klerx, H.J., Smolders, E.A.A., 1997. Herd and cow random variation in models of interrelationships between metabolic and reproductive disorders in high yielding multiparous Holstein dairy cattle in the Netherlands. *Livest. Prod. Sci.* 52, 21-29. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00116-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00116-4).
- Kodagali, S.B., 2003. Notes on applied bovine reproduction. Part II. In: Kodagali, S.B., (ed.). *Bovine obstetrics*. Anand, Gujarat, In: Indian Society for Study of Animal Reproduction.
- Kumar, P., Dayal, S., Tiwari, R., Sengupta, D., Barari, S.K., Dey, A., 2015. Vaginal prolapse in peri-partum primiparous murrah buffalo complicated into endometritis and cystitis: a case report. *Buffalo Bull.* 34, 153-159.
- Maizon, D.O., Oltenacu, P.A., Grohn, Y.T., Strawderman, R.L., Emanuelson, U., 2004. Effects of diseases on reproductive performance in Swedish Red and White dairy cattle. *Prev. Vet. Med.* 66, 113-126. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.09.002>.
- Meijering, A., 1984. Dystocia and stillbirth in cattle- A review of causes, relations and implications. *Livest. Prod. Sci.* 11, 143- 177. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(84\)90057-5](https://doi.org/10.1016/0301-6226(84)90057-5).

- Mody, M., Chauhan, R.A.S., Shukla, S.P., 2002. Process of parturition in buffaloes. *Indian J. Anim. Reprod.* 23, 141- 3.
- Mohammad, D.R.I., Abdel-Rahman, M.A.M., 2013. A comparative study on behavioral, physiological, and adrenal changes in buffaloes during the first stage of labor with normal and difficult parturition. *J. Vet. Behav.* 8, 46-50. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2012.04.005>.
- Mota-Rojas, D., Nava, A., Villanueva, D, Alonso S.M., 2008. *Perinatología y Ginecobstetricia Animal, enfoques clínicos y experimentales*. Segunda edición. Editorial BM Editores. Ciudad de México. México. p 481.
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., 2019a. Invited review: Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. *CAB Rev.* 14, 1-12. (UK). <https://www.cabi.org/cabreviews/>
- Mota-Rojas, D., Martínez-Burnes, J., Napolitano, F., Domínguez-Muñoz, M., Guerrero-Legarreta, I., Mora-Medina, P., et al., 2019b. Invited review: Dystocia: Factors affecting parturition in domestic animals. *CAB Rev.* 15:1–14. (UK). <https://www.cabi.org/cabreviews/>
- Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Napolitano, F., Serrapica, F., De Rosa G. et al. 2019c. Capítulo 9. La búfala de agua durante el parto y ordeño: respuestas fisiológicas y conductuales. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). *El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales* (p. 154-191), Segunda

edición. México, BM Editores.

Murty, K.K., Prasad, V., Murty, P.R., 1999. Clinical observations on uterine torsion in buffaloes. *Indian Vet. J.* 76, 643–645.

Nanda, A.S., Brar, P.S., Prabhakar, S., 2003. Enhancing reproductive performance in dairy buffalo: major constraints and achievements. *Reprod. Suppl.* 61, 27–36.

Nanda, A.S., Sharma, R.D., 1982. Incidence and etiology of pre-partum prolapse of vagina in buffaloes. *Indian J. Dairy Sci.* 35, 168-171.

Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Berdugo-Gutiérrez, J., Álvarez-Macias, A., Mora-Medina, P., Ruíz-Buitrago, J., et al., 2018a. Bienestar de la búfala lechera y su productividad. Sección Aprendamos Juntos de Bienestar animal. <https://bmeditores.mx/secciones-especiales/aprendamos-juntos-del-bienestar-animal>

Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Berdugo-Gutiérrez, J., González-Lozano, M., Mora-Medina, P., Ruíz-Buitrago J., et al., 2018b. El bienestar de la búfala lechera al parto. *Pecuarios.com*. Sección Ganadería.com. Disponible en: <https://www.ganaderia.com/destacado/El-bienestar-de-la-bufala-lechera-al-parto>.

Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, Ruíz-Buitrago J, Guerrero-Legarreta I. 2019. Bienestar del búfalo recién nacido: aspectos conductuales, improntación, contacto con la ubre y altruismo del amamantamiento comunal.

<https://www.ganaderia.com/destacado/BIENESTAR-DEL-BUFALO-RECIEN-NACIDO%3A-aspectos-conductuales%2C-improntacion%2C-contacto-con-la-ubre-y-altruismo-del-amamantamiento-comunal>.

- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Braghieri, A., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Cruz-Monterrosa, R., De Rosa, G., 2020a. Factores Productivos y su incidencia en el bienestar de la búfala lechera en sistemas de producción extensivos e intensivos. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 20, (40), 155-173.
- Napolitano F, Arney D, Mota-Rojas D, De Rosa G. 2020b. Chapter 17. Reproductive technologies and animal welfare. In: Presicce G, editor. *Reproductive technologies in animals*. 1st. ed. Italy: S&T Sciences/Elsevier Press; 2020. p. 266.
- Naveena, B.M., Kiran, M., 2014. Buffalo meat quality, composition, and processing characteristics: Contribution to the global economy and nutritional security. *Animal Frontiers*. 4, 18–24. Doi: 10.2527/af.2014-0029.
- Noakes, D.E., Parkinson, T.J., England, G.C.W., 2009. *Veterinary Reproduction and Obstetrics*, 9th ed. Hatfield, UK., W.B. Saunders Company.
- Noakes, E.D., Parkinson, T.J., England, G.C.W., 2001. Post parturient prolapse of the uterus, In: *Arthur's Veterinary Reproduction and Obstetrics*. 8th ed. Harcourt (India), New Delhi. Pp. 222-2338.

- Olsson, A., Keeling, A., 1998. Understanding animal behaviour and preventing behavioral problems. *Svensk veterinärtidning*. 50, 697-702.
- Owens, J.L., Edey, T.N., Bindon, B.M., Piper, L.R., 1985. Parturient behaviour and calf survival in a herd selected for twinning. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 13, 321-333. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(85\)90012-7](https://doi.org/10.1016/0168-1591(85)90012-7).
- Peters, A.R., Poole, D.A., 1991. Induction of parturition in dairy cows with dexamethasone. *Vet. Rec.* 131, 576- 8.
- Prakash, B.S., Madan, M.L., 1985. Induction of parturition in water buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Theriogenology*. 23, 325-331.
- Purohit, G.N., Gaur, M., Kumar, A., Shekher, C., Ruhil, S., 2013. Perspectives of cesarean section in buffaloes. *Asian Pacific Journal of Reproduction*. 2, 229- 237.
- Purohit, G.N., Kumar, P., Solanki, K., Shekher, Ch., Yadav, S.P., 2012. Perspectives of fetal dystocia in cattle and buffalo. *Vet. Sci. Dev.* 2, 8. Doi: 10.4081/vsd.2012.3712.
- Rabidas, S.K., Gofur, M.R., Juyena N.S., Alam, M.G.S., 2015. Controlled Induction of Parturition in the Dairy Buffaloes: An Approach of Success of Buffalo Breeding Farm in Bangladesh. *Asian J. Anim. Sci.* 9, 241-247. Doi: 10.3923/ajas.2015.241.247.
- Roberts, S.J., 1086. Diseases and accidents during the gestation period. Diagnosis and treatment of the various types of dystocia. Injuries and diseases of the puerperal period. In: Roberts, S.J.

- (ed) Veterinary obstetrics and genital diseases. Theriogenology Woodstock, pp. 337–43.
- Samad, H.A., Ali, C.S., Rehman, N.U., Ahmad, A., Ahmad, N., 1987. Clinical incidence of reproductive disorders in buffaloes. Pak Vet. J. 7, 16-19.
- Sasaki, Y., Uematsu, M., Kitahara, G., Osawa, T., Sueyoshi, M., 2014. Effects of stillbirth and dystocia on subsequent reproductive performance in Japanese Black cattle. Vet. J. 200, 462- 463. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2014.03.004>.
- Schonfelder, A., Sobiraj, A., 2005. Etiology of torsio uteri in cattle: a review. Schweiz. Arch. Tierheilkd. 147, 397–402. Doi: 10.1024/0036-7281.147.9.397.
- Schuenemann, G.M., Nieto, I., Bas, S., Galvão, K.N., Workman, J., 2011. Assessment of calving progress and reference times for obstetric intervention during dystocia in Holstein dairy cows. J. Dairy Sci. 94, 5494–5501. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-4436>.
- Shadinger, L.L., Andreotti, R.F., Kurian, R.L., 2008. Preoperative sonographic and clinical characteristics as predictors of ovarian torsion. J. Ultrasound Med. 27, 7–13. Doi: 10.7863/jum.2008.27.1.7.
- Shukla, S.P., Pandey, A., Nema, S.P., 2008. Emergency induction of parturition in buffaloes. Buffalo Bull. 27, 148-149.

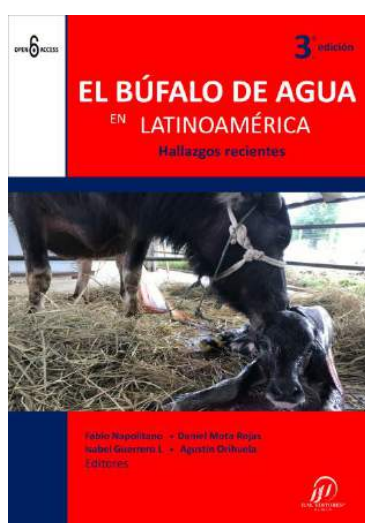
- Singh, B., Nanda, A.S., Arora, A.K., 1997. Comparative studies on postpartum uterine infections in dystocia affected cows and buffaloes. *Indian J. Anim. Sci.* 67, 477–479.
- Singh, G., Pandey, A.K., Agnihotri, D., Chander, S., Chandolia, R.K., Dutt, R., 2013. Survival and fertility rate in buffaloes following caesarean section and mutation with/without partial fetotomy. *Indian J. Anim. Sci.* 83, 251-253.
- Singh, P., Nanda, A.S., 1996. Treatment of uterine torsion in buffaloes modification of schaffer's method. *Indian J. Anim. Reprod.* 17, 33–35.
- Streyl, D., Sauter-Louis, C., Braunert, A., Lange, D., Weber, F., Zerbe, H., 2011. Establishment of a standard operating procedure for predicting the time of calving in cattle. *J. Vet. Sci.* 12, 177–186. <http://dx.doi.org/10.4142/jvs.2011.12.2.177>.
- Taverne, M.A.M., 1998. Regulation of parturition: From theory to practice. *Reprod. Domestic Anim.* 33, 247-248.
- Wolfe, D.F., 2009. Medical and surgical management of vaginal prolapse in cattle. In *Proceedings of 81st Annual Western Veterinary Conference, USA*.
- Wood, C.E., 1998. Control of parturition in ruminants. *J. Reprod. Fert. Suppl.* 54, 115-126.
- Zicarelli, L., 2000. Considerations about the prophylaxis of the uterine and vaginal prolapse in Italian Mediterranean buffalo cows. *Bubalus Bubalis* 3, 71-90.



CAPÍTULO 14

MORTINATOS EN LA BÚFALO DE AGUA: FACTORES DE RIESGO FETAL Y MATERNO

Julio Martínez-Burnes, Daniel Mota-Rojas, Fabio Napolitano, Alfonso López-Mayagoitia,
Miguel González-Lozano, Ada Braghieri, Giuseppe De Rosa y Agustín Orihuela



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición



CAPÍTULO 14

Mortinatos en la búfala de agua: factores de riesgo fetal y materno

Julio Martínez-Burnes¹, Daniel Mota-Rojas², Fabio Napolitano³, Alfonso López-Mayagoitia⁴, Miguel González-Lozano⁵, Ada Braghieri³, Giuseppe De Rosa⁶ y Agustín Orihuela⁷

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México.

²Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México.

³Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

⁴Profesor Emérito de Patología en el "Atlantic Veterinary College" de la Universidad de la Isla de Príncipe Eduardo (UPEI), Canadá.

⁵Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

⁶Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici, Naples, Italia.

⁷Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

INTRODUCCIÓN

En general, los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) son capaces de utilizar forrajes de muy mala calidad, habituarse a ambientes extremos y resistir una variedad importante de enfermedades tropicales (Safari et al., 2018; Guerrero-Legarreta et al., 2019; Bertoni et al., 2019a,b; Bertoni et al., 2020). Sin embargo, son pocos los estudios sobre los factores de riesgo involucrados en la mortalidad de becerros al nacimiento en esta especie (Peeva et al., 2009; Ghavi Hossein-Zadeh et al., 2012; Nasr, 2017a; Salem y Amin, 2017), particularmente al compararse con los generados en bovinos de leche del género *Bos*, donde ya se conocen los factores involucrados, causas y efectos tanto productivos como económicos en este tema (Meijering, 1984;

Chassagne et al., 1999; Meyer et al., 2000; Meyer et al., 2001; Bicalho et al., 2007; Bicalho et al., 2008; Ghavi Hossein-Zadeh et al., 2008; Szücs et al., 2009; Mee et al., 2014; Barragan, 2015; Bayram et al., 2015). Por lo anterior, es necesario analizar los factores de riesgo asociados a la incidencia de mortinatos en búfalos, y sus consecuencias en las madres. El término mortinato generalmente se refiere al nacimiento de un becerro muerto o su muerte durante el parto (Chassagne et al., 1999; Mee, 2008b; Mota-Rojas et al., 2008). Sin embargo, en diversos estudios también consideran mortinato a un becerro aún si nace vivo con poco vigor y muere entre 24 y 48 h posteriores al parto (Meyer et al., 2000; Lombard et al., 2007; Mota-Rojas et al., 2008; Schuenemann et al., 2011). Cualquiera que sea el caso, una alta proporción de mortinatos es inaceptable desde el punto de vista económico y del bienestar del recién nacido (Szücs et al., 2009) (**Figura 1**).



Figura 1. En las especies precociales (la mayoría de los ungulados) incluyendo el búfalo de agua, la cría se caracteriza por nacer completamente desarrollada ya que el becerro es capaz de seguir a la madre poco después del nacimiento (sólo 30 minutos), y puede empezar a mamar en menos de 1 hora. Los becerros son capaces de percibir señales olfativas, acústicas, visuales, y táctiles del ambiente. Sin embargo, si su vitalidad es baja o aspiró meconio durante su expulsión, a pesar de nacer vivo, morirá en las siguientes horas postparto (Mota-Rojas et al., 2019).

FACTORES DE RIESGO PARA LA INCIDENCIA DE MORTINATOS

Las causas de mortinatos tanto en la vaca lechera como en búfalas de agua varían entre hatos, así como entre razas (Bleul, 2011; Nasr, 2017b), muchas de estas causas son multifactoriales. En la actualidad, entre los factores de riesgo asociados con la incidencia de mortinatos se encuentran: el número de partos; distocias; gestaciones de 12 – 15 días por debajo del promedio (Mee, 2008a,b); partos gemelares (Silva del Rio et al., 2007); peso del becerro al nacimiento (Johanson y Berger, 2003); sexo (Johanson y Berger, 2003) y desproporción feto-pélvica (un diámetro reducido de la pelvis con respecto al tamaño del feto) (Bleul, 2011; Uematsu et al., 2013). La incidencia de mortinatos en búfalos criados en zonas rurales se calcula en solo el 0.09% (Prasad y Prasad, 1998), cifra que contrasta drásticamente con el de vacas lecheras criadas en granjas convencionales, donde el índice de mortinatos varía entre 0.67 y 9.2% (Parekh y Singh, 1981). Sin embargo, en búfalos de Pakistán (Hashmi et al., 2013) y búfalos egipcios puros (Nasr, 2016) el porcentaje de mortinatos se encuentra por arriba de 34 y 13.90%, respectivamente. La información disponible en los estudios de mortalidad de recién nacidos en búfalos de agua, muestra discrepancias en cuanto a los factores de riesgo y sus efectos en las madres, atribuibles a factores como: la variación biológica entre diferentes poblaciones, los métodos estadísticos así como el tamaño de muestra utilizado (Silva del Río et al., 2007), la supervisión de animales basada en el tamaño del hato (Ghavi Hossein-Zadeh et al., 2008), los métodos para evaluar pérdidas de leche (Ghavi Hossein-

Zadeh, 2014) y las prácticas de manejo del hato (Bicalho et al., 2007, 2008) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Factores de riesgo asociados con la incidencia de mortinatos en búfalos

Factor de riesgo	Lugar	Observaciones	Autor
Incidencia de mortinatos en:			
Promedio y desviación no ajustados	Pakistán	7.59±13.49% no específica genética, datos utilizados durante el periodo de marzo 2003 a febrero 2010	Hashmi et al. (2013).
Época del año	Ismailía, Egipto	Alta durante el mes de otoño (búfalo egipcio puro)	Nasr (2017a).
	India	Verano y otoño: 18.2 y 16.5% invierno y primavera: 23.8 y 32.7% (búfalo autóctono hindú, 200 granjeros, 3 años)	Screedhar et al. (2010).
Genética	Ismailía, Egipto	35% búfalo egipcio puro 10.6% F1 cruza (50% búfalo egipcio puro y 50% búfalo italiano) 4.5% cruzamientos regresivos (75% de búfalos egipcios puros y 25% búfalo italiano)	Nasr (2017a).
	India	22% de mortalidad desde el nacimiento hasta los 2 años de vida (búfalo autóctono hindú, 200 granjeros, 3 años).	Screedhar et al. (2010).
Duración de la gestación	Egipto	< 295 días (primíparas 11.5 %; multíparas 6.0%) > 310 días (primíparas 18.4 %; multíparas 10.1%) (búfalo egipcio)	Salem y Amin, (2017).
	Ismailía, Egipto	Gestaciones menores a 305 días, gestaciones mayores a 321 días (búfalo egipcio puro) gestaciones menores a 305 días cruzas F1 (50% búfalo egipcio puro y 50% búfalo italiano)	Nasr (2017a).
Distocia	Pakistán, Egipto	Hembras con distocia: 13.9 - 34 % (búfalo egipcio e italiano)	Hashmi et al. (2013); Nasr, (2016).
Número de partos	Egipto	Primer parto y multíparas de más de 10 partos (búfalo egipcio)	Salem y Amin, (2017).
	Ismailía, Egipto	Todos con mayor incidencia de mortinatos en primer parto búfalo egipcio puro cruzas F1 (50% búfalo egipcio puro y 50% búfalo italiano) cruzamientos regresivos (75% búfalos egipcios y 25% búfalo italiano)	Nasr (2017a).
	Irán	Búfalas primíparas (probabilidad = 1.83; P < 0.0001)	Ghavi Hossein-Zadeh et al. (2012).
Peso al nacimiento	Egipto	Pesos menores a 15 kg (primíparas 62.2 %; multíparas 61.3%) (búfalo egipcio)	Salem y Amin, (2017).
	India	Pesos menores a 25 kg altas mortalidades al nacimiento (búfalo criollo, 200 granjeros, 3 años)	Screedhar et al. (2010).
Sexo	India	Becerras machos, 66.7 % terneras hembras 46.1 % (búfalo criollo, 200 granjeros, 3 años)	Screedhar et al. (2010).
	Irán	Machos mayor probabilidad de nacer muertos comparados con las hembras (probabilidad = 1.21; P < 0.01).	Ghavi Hossein-Zadeh et al. (2012).
Agente			
Leptospira	Andhra Pradesh, India	Ganado bovino y búfalo (la leptospirosis representa grandes pérdidas económicas por sus efectos adversos en el feto como abortos y mortinatos y aparato reproductor de la madre con infertilidad)	Alamuri et al. (2019).
Brucella	Haryana, India	Mortinatos y retención placentaria en vacas lecheras y búfalas de agua seropositivas	Lindahl et al. (2018).
*Todos los valores de incidencia de mortinatos en búfalos se muestran en porcentajes para los diferentes estudios.			

MORTALIDAD Y ÉPOCA DEL AÑO

Chaikhun et al. (2013) mencionan que las pérdidas fetales en búfalos son constantes, aunque tienden a incrementarse en temporada de lluvia (junio a octubre). Sin embargo, de acuerdo con Screedhar et al. (2010), se observa una baja mortalidad de becerros al nacimiento durante el verano (18.2%) y otoño (16.5%) en comparación con el invierno (23.8%) y primavera (32.7%). Por otra parte, Nasr, (2017a), observaron un efecto de la temporada de parto en la incidencia de nacidos muertos: la incidencia fue alta en el otoño, pero sin diferencia en las otras épocas del año. No obstante, también observaron que las cruza F1 (50% búfalo egipcio puro y 50% búfalo italiano) tuvieron tasas de mortinatos más altas durante la primavera y menores durante el invierno y otoño. En cambio, los cruzamientos regresivos (75% búfalo egipcio y 25% búfalo italiano) no mostraron diferencias entre las distintas épocas del año. Los autores sugieren que se debe promover en los productores el aumento de animales de cruzamientos regresivos con la intención de aumentar la producción de leche y asegurar eficiencias de reproducción superiores con menor incidencia de mortinatos.

FACTORES GENÉTICOS Y NÚMERO DE PARTO

Salem y Amin (2017) analizaron información sobre el búfalo egipcio contenida en 7958 registros de 1764 búfalas multíparas y 1752 registros de 896 búfalas primerizas, encontrando una heredabilidad materna baja, con valores de 0.06, para la incidencia de nacidos muertos. Lo que sugiere que la mejora genética no es una herramienta efectiva para reducir la incidencia de nacidos muertos, al menos en el búfalo egipcio.

Por otro lado, Nasr, (2017a) encontraron la tasa más alta de mortinatos en búfalas egipcias puras durante su primer parto, al compararlas con cruzamientos F1 (50% búfalo egipcio puro y 50% búfalo italiano) y con los cruzamientos regresivos (75% búfalo egipcio y 25% búfalo italiano) (35%, 10.60%, y 4.5% respectivamente), disminuyendo la incidencia conforme avanzan el número de partos, en todos los casos.

En cuanto al búfalo criollo, datos recopilados en condiciones de campo mostraron que la mortalidad de estos animales desde el nacimiento hasta el primer año de vida es del 22%, donde los machos tienen índices de mortalidad más altos que las hembras (Screedhar et al., 2010). Los becerros con el menor peso al nacer (< 25 kg) tienen altos índices de mortalidad tanto en machos (66.7%) como en hembras

(46.1%) comparados con los que nacieron con pesos entre los 25 y 30 kg (machos 14.7%; hembras 14.0%) (Screedhar et al., 2010).

DURACIÓN DE LA GESTACIÓN

La duración de la gestación en la vaca lechera es de 282 - 289 días (Maeda et al., 2014; Barragan, 2015), mientras que en búfalos es de alrededor de 310 días (Ingawale y Dhoble, 2004). En bovinos del género *Bos*, la amenaza de mortinatos es alta cuando la duración de la gestación se desvía alrededor de 11 días con respecto al promedio (Maeda et al., 2014). La frecuencia de mortinatos en vacas lecheras con gestaciones menores a 272 días es de 16.9% y cuando el periodo de gestación es mayor a 302 días la frecuencia es de 4.3% (Bleu, 2011; Barragan, 2015). En búfalo egipcio, la tasa de mortinatos es menor en búfalas primíparas y multíparas con duraciones de la gestación entre 295 y 310 días (Salem y Amin, 2017).

PROGRAMACIÓN DEL PARTO

La inducción del parto permite a los criadores o propietarios de animales monitorear de cerca el proceso de expulsión del neonato, detectar y corregir oportunamente los nacimientos difíciles (distocia), reduciendo así la mortalidad neonatal durante el nacimiento (Bellows et al., 1994). Sin embargo, las madres inducidas con corticosteroides sufren más dificultades al parto que las hembras con pariciones

normales. No obstante, en el estudio de Rabidas et al. (2015), encontraron que la combinación de dexametasona con cloprostenol fue de utilidad en casos de inducción de emergencia o inducción controlada del parto para búfalas, reduciendo los problemas de distocia, retención de membranas fetales y mortalidad perinatal de los becerros (Rabidas et al., 2015). Aunque se concluyó que con esta combinación hubo una incidencia moderada de distocia y retención de placenta, debe minimizarse mediante un seguimiento cuidadoso, observación crítica y asistencia inmediata. Por lo que se necesitan más ensayos terapéuticos para minimizar la incidencia de retención de placenta y distocia.

PARTO DIFÍCIL

La frecuencia de distocia en búfalos puede llegar a ser alta, provocando con frecuencia mortalidad de los neonatos que se calcula entre el 13.9 y el 34% (Hashmi et al., 2013; Mohammad y Abdel Rahman, 2013; Nasr, 2016). Lo que genera pérdidas económicas debido tanto a la mortalidad de los becerros como a la de las madres, afectando así la rentabilidad de la granja (Szücs et al., 2009).

Es generalmente aceptado que becerros con pesos altos al nacimiento, predisponen tanto a la vaca lechera como a la búfala a tener distocia y altos índices de nacidos muertos (Mee, 2008b; Salem y Amin, 2017). Así, Bayram et al. (2015) y Salem y Amin (2017) encontraron que el

índice de nacidos muertos se incrementa con el peso de los becerros al nacimiento; resultado que se puede explicar por la desproporción entre el tamaño del feto comparado con el tamaño de la madre (Lombard et al., 2007). Durante un parto distócico los recién nacidos pueden sufrir episodios prolongados de hipoxia causando la muerte fetal. Si el feto sobrevive la hipoxia frecuentemente desarrolla acidosis severa (pH sanguíneo bajo) y esto puede afectar órganos vitales (por ejemplo, las funciones cerebrales), reduciendo así la vitalidad neonatal y disminuyendo los índices de supervivencia (Meijering, 1984; Mota-Rojas et al., 2019).

El poder diferenciar entre un parto difícil y un proceso de nacimiento normal es esencial, debido a que los efectos fisiopatológicos del parto problemático a menudo deterioran la fertilidad de la hembra. Casos graves de distocia pueden provocar en ocasiones la muerte de la madre como resultado del daño al aparato genital (ruptura de útero) o por infecciones secundarias y sepsis.

Independientemente del rendimiento reproductivo y la incidencia de distocia y sus causas, siempre deben considerarse las diferencias anatómicas entre la vaca y la búfala de agua (González-Lozano et al., 2020).

TORSIÓN UTERINA

La torsión uterina en búfalos es un problema de distocia frecuente y severo (Murty et al., 1999; Nanda et al., 2003; Amin et al., 2011) que pone en peligro tanto la vida de la madre como la del feto. Esta situación sucede durante la gestación tardía cuando el útero grávido rota sobre su eje longitudinal, causando compresión severa de la vasculatura uterina (Roberts, 1986; Frazer y Perkins, 1995; Aubry et al., 2008; Noakes et al., 2009). Frazer et al. (1996) sugieren que el feto puede provocar torsión uterina, debido a que con frecuencia se observa con fetos machos de tamaño inusualmente grande (Baker, 1988; Noakes et al., 2009).

Las tasas o índices de mortalidad materna y fetal tanto en vacas como en búfalas que padecen torsión uterina varían ampliamente debido a dos factores importantes: el grado, y la duración de la torsión, que son determinantes en el futuro tanto de la madre como del feto (Frazer y Perkins, 1995; Amer et al., 2008; Amin et al., 2011). Si la torsión no se resuelve oportunamente, producirá un infarto hemorrágico uterino debido a la isquemia por oclusión o compresión de vasos sanguíneos (Shadinger et al., 2008; Noakes et al., 2009).

MUERTE FETAL

En un estudio realizado en una granja lechera ubicada en la provincia de Chachoengsao, Tailandia, se recabó información de búfalas

preñadas, entre los años de 2003 y 2011. Las pérdidas fetales fueron del 7.19% (n=20/228), de las cuales 4.32% (12/228) se clasificaron como abortos (el fin de la gestación $\geq$ 90 días después de la fertilización) y 2.88% (8/228) como mortinatos (el nacimiento del feto muerto o la muerte del becerro dentro de los primeros 3 días) (Chaikhun et al., 2013). La tasa de pérdida fetal fue comparativamente baja y en la industria de la cría de búfalos generalmente se considera en el rango aceptable. Sin embargo, el manejo adecuado de las búfalas preñadas y el control cuidadoso de su salud pueden reducir la pérdida fetal y deben considerarse durante todo el año.

DIFERENCIAS ENTRE SEXOS

Ghavi Hossein-Zadeh et al. (2012) analizaron los registros de partos en búfalos (*Bubalus bubalis*) desde abril de 1991 a junio de 2010, abarcando 1,151 hatos con 34,911 pariciones. Estos investigadores encontraron que la proporción de machos y hembras fue de 53:47. Los machos tuvieron mayor probabilidad de nacer muertos comparados con las hembras (Probabilidad = 1.21; $P < 0.01$). También los machos fueron más pesados que las hembras, en especial los nacidos de hembras multigestas de 4 partos o más. Además de que observaron una mayor probabilidad de muerte fetal en terneros nacidos de búfalas primíparas (Probabilidad = 1.83; $P < 0.0001$).



Figura 2. Becerros de búfala, recién nacidos. Reducir en número de crías muertas, no es suficiente; se debe asegurar evitar episodios de hipoxia severa que pueden afectar la vitalidad del recién nacido y favorecer el Síndrome de Aspiración de Meconio, con efectos adversos como la neumonía quimiotáctica, incrementando las probabilidades de la muerte en los lactantes (Fotos cortesía Alex Cuibus) (Mota-Rojas et al., 2008; 2018; Martínez-Burnes et al., 2019).

PARTOS GEMELARES

Los partos gemelares cuentan con aspectos positivos y negativos, los cuales deben estudiarse sin dejar de lado las ventajas y desventajas que varían de acuerdo con cada sistema de producción (Rocha et al., 2019). Los aspectos negativos incluyen un bajo peso al nacimiento,

alta mortalidad de las vaquillas, un incremento notable en distocias y mortalidad de los becerros al nacimiento, abandono de recién nacidos, altos índices de retención placentaria e incremento de días abiertos (Kirkpatrick, 2002). Aunque poco frecuentes, también se reportaron anomalías en el desarrollo fetal caracterizadas principalmente por la fusión de los fetos (Shukla et al., 2011).

Kirkpatrick (2002), propone poner atención a las gestaciones gemelares para prevenir los aspectos negativos de las mismas, mediante la detección temprana con ultrasonido para permitir cambiar la alimentación en las hembras con preñeces gemelares. Dichas hembras requieren una mayor ingesta de energía en el último tercio de la gestación y durante la lactancia para tener la capacidad de alimentar dos becerros y reiniciar la actividad reproductiva nuevamente.

DURACIÓN DEL PARTO

La duración del parto en búfalos normalmente oscila entre 20-70 min comparado con el parto en la vaca en la cual puede durar hasta 6 horas (Manju and Varma, 1985; Kodagali, 2003; Mody et al., 2002). Probablemente otros factores como la alimentación y el arduo ejercicio de las búfalas en sistemas de rotación de potreros pueden también reducir la duración del parto. No obstante, como se mencionó anteriormente, un proceso de nacimiento prolongado que requiere de la extracción forzada del producto puede producir acidosis

fetal severa provocada por asfixia y pH bajo en sangre; todas ellas condiciones que reducen la vitalidad neonatal y daño a los órganos vitales del neonato (Nasr, 2017a; Mota-Rojas et al., 2019).

MANEJO DEL HATO Y REPERCUSIONES ECONÓMICAS

La proporción de mortinatos representa un índice particularmente importante en hatos de búfalos por su relación directa con la rentabilidad (Meyer et al., 2001). Las repercusiones financieras que provocan los mortinatos son numerosas: el detrimento del valor económico de los terneros; altos gastos veterinarios (al ser requeridos los servicios con mayor frecuencia); disminución de la producción de leche de las hembras; bajos índices reproductivos; menor vida útil de la vaca; y más casos de infecciones uterinas y placentas retenidas (Chassagne et al., 1999; Berry et al., 2007; Mota-Rojas et al., 2019). En este sentido, Chassagne et al. (1999), Berry et al. (2007) y Mee et al. (2014) identificaron numerosos aspectos que juegan un papel importante en la incidencia de distocia. Además de los previamente mencionados, se incluyen; procedimientos de manejo al parto; técnicas de cruzamiento o cría; condición hormonal; estado de salud del feto y la madre; calidad del calostro, y presentaciones anormales del neonato al nacimiento.

La posición inadecuada del becerro durante el parto provoca distocia. Por ejemplo, estudios en ganado de carne demuestran claramente que

las becerras nacidas de partos con complicaciones tienen tasas de mortalidad mucho más elevadas en las primeras 24 horas postparto (Patterson et al., 1987; Wittum et al., 1993; Nix et al., 1998). De hecho, las tasas elevadas de mortinatos también indican un bienestar animal deficiente y manejo inadecuado del ganado (Nyman et al., 2011) lo cual, podría ser similar en las producciones intensivas de búfalo de agua.

En bovinos y en búfalos, altas tasas de mortalidad fetal se reflejan en un menor número de terneros para vender o para reemplazar el inventario del ganado (Maizon et al., 2004); pero estas no son las únicas consecuencias. Las distocias también repercuten en la mortalidad de las madres, generan vidas productivas cortas, desechos de animales prematuros y servicios veterinarios costosos durante el parto (Szücs et al., 2009). Además, las madres que paren terneras muertas tienen 19 - 41% más probabilidades de morir o ser enviadas a rastro como animales de desecho, comparadas con las que paren neonatos vivos (Bicalho et al., 2007; Peeva et al., 2009).

Los becerros nacidos muertos en hatos de vacas lecheras son un factor crítico en la eficiencia reproductiva, ya que los mortinatos se asocian con metritis, retención placentaria y disminución de la expectativa de vida.

Comparativamente, en la industria de la leche de los Estados Unidos de Norte América el daño económico ocasionado por la mortalidad de terneros al nacimiento se calcula entre 125 - 132 millones de dólares anuales (Meyer et al., 2001). Esta estimación muestra un incremento de 75.9 millones entre 1985 - 1996 debido a la alta frecuencia de terneros nacidos muertos de hembras primíparas y multíparas, misma que alcanzó 9.5 - 13.2 % y 5.0 - 6.6 % para esos años, respectivamente (Meyer et al., 2001).

Los índices de mortinatos varían entre hatos de ganado debido principalmente a las diferencias en las técnicas empleadas para el manejo de parto. Sin embargo, se observa que estos índices disminuyen a medida que aumenta la paridad, probablemente porque las hembras multíparas van acumulando experiencia en la crianza y cuidado del ternero, producen más calostro, tienen un tamaño corporal más grande y la pelvis más ancha.

CONSIDERACIONES FINALES

Los mortinatos en búfalos son de relevancia y ocasionan también repercusiones en las madres. Son de origen multifactorial, que incluyen factores fetales como el tamaño y peso del neonato y su nutrición, así como maternos como la paridad, duración de la gestación, genéticos y partos distócicos. También los factores ambientales y temporadas del año deben considerarse. Por lo

anterior, es necesario analizar los factores de riesgo asociados a la incidencia de mortinatos en búfalos, y sus consecuencias en las madres.

El mejoramiento de las estrategias de manejo y las condiciones medioambientales podrían disminuir la tasa de mortinatos en búfalos de agua.

REFERENCIAS

- Alamuri, A., Thirumalesh, S., Kumari, S. S., Kumar, K. V., Roy, P., Balamurugan, V., 2019. Seroprevalence and distribution of serogroup-specific pathogenic *Leptospira* antibodies in cattle and buffaloes in the state of Andhra Pradesh, India. *Vet. world*, 12(8), 1212–1217.
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2019.1212-1217>
- Amer, H.A., Hashem, M.A., Bader, A., 2008. Uterine twisting during pregnancy in buffaloes: relationship between clinical findings and biochemical indices. *J. Appl. Biol. Sci.* 2, 31-39.
- Amin, S.M., Amer, H.A., Hussein, A.E., Hazza, A.M., 2011. Creatine phosphokinase and aspartate aminotransferase profiles and its relation to the severity of uterine torsion in Egyptian buffalo. *Anim. Reprod. Sci.* 123, 163-168.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.12.002>.
- Aubry, P., Warnick, L.D., DesCôteaux, L., Bouchard, E., 2008. A study of 55 field cases of uterine torsion in dairy cattle. *Can. Vet. J.* 49, 366-372.

- Baker, I. 1988. Torsion of the uterus in the cow. In Practice. 10, 26.
- Barragan A.A., 2015. Effect of calving management practices on stillbirth in Holstein dairy cows with emphasis in confinement systems. Msc thesis. The Ohio State University.
- Bayram, B., Topal, M., Aksakal, V., Önk, K., 2015. Investigate the effects of non-genetic factors on calving difficulty and stillbirth rate in Holstein Friesian cattle using the CHAID analysis. Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg. J. 21, 645-652. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2015.12967>.
- Bellows, R.A., Short, R.E., Staigmiller, R.B., 1994. Exercise and induced-parturition effects on dystocia and rebreeding in beef cattle. J. Anim. Sci. 72, 1667-1674. <https://doi.org/10.2527/1994.7271667x>.
- Berry, D.P., Lee, J.M., Macdonald, K.A., Roche, J.R., 2007. Body condition score and body weight effects on dystocia and stillbirths and consequent effects on post-calving performance. J. Dairy Sci. 90, 4201-4211. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0023>.
- Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Morales, A., Orozco, C.C., Mota-Rojas, D., 2019a. Capítulo 7. Los sistemas de producción de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). El búfalo de agua en las Américas (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Bertoni, A., Álvarez, A., Mota-Rojas, D., 2019b. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. Soc. Rur. Prod. Med. Amb. 19 (38), 59-80.
- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A.,

- Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J., Legarreta, I.G., 2020. Similarities and Differences between River Buffaloes and Cattle : Health , Physiological , Behavioral and Productivity Aspects. *J. Buffalo Sci.* 9, 92-109.
- Bicalho, R.C., Galvao, K.N., Cheong, S.H., Gilbert, R.O., Warnick, L.D., Guard, C.L., 2007. Effect of stillbirth on dam survival and reproduction performance in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 2797-2803. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-504>.
- Bicalho R.C., Galvao K.N., Warnick L.D., Guard C.L., 2008. Stillbirth parturition reduces milk production in Holstein cows. *Prev. Vet. Med.* 84, 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.11.006>.
- Bleul, U., 2011. Risk factors and rates of perinatal and postnatal mortality in cattle in Switzerland. *Livest. Sci.* 135, 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.07.022>.
- Chaikhun, T., Hengtrakunsin, R., Kajaysri, J., 2013. Fetal loss in dairy buffaloes in Eastern of Thailand. 10th World Buffalo Congress and the 7th Asian Buffalo Congress 2013; Thailand; 6 May through 8 May. *Buffalo Bull.* 32, 572-574.
- Chassagne, M., Barnouin, J., Chacornac, J.P., 1999. Risk factors for stillbirth in Holstein heifers under field conditions in France: a prospective survey. *Theriogenology.* 51, 1477-1488. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(99\)00091-6](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(99)00091-6).
- Frazer, G.S., Perkins, N.R., 1995. Cesarean section. *Vet. Clin. North Am: Food Anim. Pract.* 11, 19-35. [https://doi: 10.1016/s0749-0720\(15\)30507-7](https://doi: 10.1016/s0749-0720(15)30507-7).

- Frazer, G.S., Perkins, N.R., Constable, P.D., 1996. Bovine uterine torsion: 164 hospital referral cases. *Theriogenology*. 46, 739-758. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(96\)00233-6](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(96)00233-6).
- Ghavi Hossein-Zadeh N., Nejati-Javaremi N., Miraei-Ashtiani S.R., Kohram, H., 2008. An observational analysis of twin births, calf stillbirth, calf sex ratio, and abortion in Iranian Holsteins. *J Dairy Sci*. 91, 4198-4205.
- Ghavi Hossein-Zadeh, N., Madad, M., Shadparvar, A.A., Kianzad, D., 2012. An observational analysis of secondary sex ratio, stillbirth and birth weight in Iranian buffaloes (*Bubalus bubalis*). *J. Agr. Sci.Tech*. 14, 1477-1484.
- Ghavi Hossein-Zadeh N., 2014. Effect of dystocia on the productive performance and calf stillbirth in Iranian Holsteins. *J. Agr. Sci. Tech*. 16, 69-78.
- González-Lozano, M., Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Martínez-Burnes, J., Di Francia, A., Braghieri, A., Berdugo-Gutiérrez, J., Mora-Medina, P., Ramírez-Necoechea, R., Napolitano F., 2020. Review: Behavioral, physiological, and reproductive performance in buffaloes during eutocic and dystocic parturitions. *Appl. Anim. Sci*. 36, 407-422. <https://doi.org/10.15232/aas.2019-01946>
- Guerreo-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A., 2019. El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales. 2da. Edición, enero 2019. México. BM Editores. México. pp. 1-881.
- Hashmi, H.A., Tarique, T.M., Yang, S., Zubair, M., Qiu, J., Chen, G., Chen, A., 2013. Factors affecting mortality in buffaloes and calves. *Int. J. Agric. Sci. Vet. Med*. 1, 1-6.

- Ingawale, M.V., Dhoble, R.L., 2004. Buffalo reproduction in India: an overview. *Buffalo Bull.* 23, 4-9.
- Johanson, J.M., Berger, P.J., 2003. Birth weight as a predictor of calving ease and perinatal mortality in Holstein cattle. *J. Dairy Sci.* 86, 3745-3755. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73981-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73981-2).
- Kirkpatrick, B., 2002. Management of twinning cow herds. *J. Anim. Sci.* 80, E14–E18. https://doi.org/10.2527/animalsci2002.80e-suppl_2e14x
- Kodagali, S.B., 2003. Notes on applied bovine reproduction. Part II. In: Kodagali SB editors. *Bovine obstetrics*. Indian Society for Study of Animal Reproduction, Anand, Gujarat, India.
- Lindahl, J. K., Naresh, D.R.S., Rajeswari, G.D. 2018. Serological evidence of *Brucella* infections in dairy cattle in Haryana, India. *Infection Ecology & Epidemiology*. 8. 1555445. [10.1080/20008686.2018.1555445](https://doi.org/10.1080/20008686.2018.1555445).
- Lombard, J.E., Garry, F.B., Tomlinson, S.M., Garber, L.P., 2007. Impacts of dystocia on health and survival of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 90, 1751-1760. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-295>.
- Maeda, S., Furukawa, Y., Yonekawa, T., Kuchida, K., 2014. Effects of phenotypic factors and inbreeding for stillbirth of Japanese Black cattle in Hokkaido. *Nihon Chikusan Gakkaiho* 5, 27-32.
- Maizon, D.O., Oltenacu, P.A., Grohn, Y.T., Strawderman, R.L., Emanuelson, U., 2004. Effects of diseases on reproductive performance in Swedish Red and White dairy cattle. *Prev. Vet. Med.* 66, 113-126. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.09.002>.

- Manju, T.S., Varma. S.K., 1985. Dystocia in buffaloes. *Indian J. Anim. Rep.* 6, 54-57.
- Martínez-Burnes, J., Mota-Rojas, D., Villanueva-García, D., Ibarra-Rios, D., Lezama-García, K., Barrios-García, H., López-Mayagoitia, A., Invited review: meconium aspiration syndrome in mammals. *CAB Reviews* 2019;14(013):1–11. doi: 10.1079/PAVSNNR201914013
- Mee, J.F. 2008a. Newborn dairy calf management. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 24, 1-17.
- Mee, J.F. 2008b. Prevalence and risk factors for dystocia in dairy cattle: a review. *Vet. J.* 176, 93-101. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.032>.
- Mee, J.F., Sánchez C.M., Doherty, M., 2014. Influence of modifiable risk factors on the incidence of stillbirth/perinatal mortality in dairy cattle. *Vet. J.* 199, 19-23. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.08.004>.
- Meijering, A. 1984. Dystocia and stillbirth in cattle. A review of causes, relations and implications. *Livest. Prod. Sci.* 11, 143-177. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(84\)90057-5](https://doi.org/10.1016/0301-6226(84)90057-5).
- Meyer, C.L., Berger, P.J., Koehler, K.J., 2000. Interactions among factors affecting stillbirths in Holstein cattle in the United States. *J. Dairy Sci.* 83, 2657-2663. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75159-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75159-9).
- Meyer, C.L., Berger, P.G., Koehler, K.J., Thompson, J.R., Sattler, C.G., 2001. Phenotypic Trends in Incidence of Stillbirth for Holsteins in the United States. *J. Dairy Sci.* 84, 515-523. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74502-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74502-X).

- Mody, M., Chauhan, R.A.S., Shukla, S.P., 2002. Process of parturition in buffaloes. *Indian J. Anim. Reprod.* 23, 141-143.
- Mohammad, D.R.I., Abdel-Rahman, M.A.M., 2013. A comparative study on behavioral, physiological, and adrenal changes in buffaloes during the first stage of labor with normal and difficult parturition. *J. Vet. Behav.* 8, 46-50.
- Mota-Rojas, D., Nava, A., Villanueva, D, Alonso S.M., 2008. *Perinatología y Ginecobstetricia Animal, enfoques clínicos y experimentales*. Segunda edición. Editorial BM Editores. Ciudad de México. México. p 481.
- Mota-Rojas, D., A. López, J. Martínez-Burnes, R. Muns, D. Villanueva-García, P. Mora-Medina, M. Gonzalez-Lozano, A. Olmos-Hernández, and Ramírez-Necoechea R., 2018. Invited review: Is vitality assessment important in neonatal animals? *CAB Rev.* 13:1–13. CABI. UK.
- Mota-Rojas, D., Martínez-Burnes, J., Napolitano, F., Domínguez-Muñoz, M., Guerrero-Legarreta, I., Mora-Medina, P., Ramírez-Necoechea, R., Lezama-García, K., González-Lozano, M. 2019. Dystocia: factors affecting parturition in domestic animals. *CAB Reviews.* 15, 1-16. (UK). <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR202015013>
- Murty, K.K., Prasad, V., Murty, P.R., 1999. Clinical observations on uterine torsion in buffaloes. *Indian Vet. J.* 76, 643-645.
- Nanda, A.S., Brar, P.S., Prabhakar, S., 2003. Enhancing reproductive performance in dairy buffalo: major constraints and achievements. *Reprod. (Cambridge, England) Suppl.* 61, 27-36.
- Nasr, M.A.F., 2016. The impact of crossbreeding Egyptian and Italian buffalo on reproductive and productive performance under

- subtropical environmental condition. *Reprod. Dom. Anim.* 52, 214-220. <https://doi.org/10.1111/rda.12881>.
- Nasr, M.A.F., 2017a. The effect of stillbirth on reproductive and productive performance of pure Egyptian buffaloes and their crosses with Italian buffaloes. *Theriogenology*. 103, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.07.035>.
- Nasr, M.A.F., 2017b. The potential effect of Temperature-Humidity Index on productive and reproductive performance of buffaloes with different genotypes under hot conditions. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 18073-18082.
- Nix, J.M., Sapitzer, J.C., Grimes, L.W., Burns, G.L., Plyler, B.B., 1998. A retrospective analysis of factors contributing to calf mortality and dystocia in beef cattle. *Theriogenology*. 49, 1515-1523. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(98\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(98)00097-1).
- Noakes, D.E., Parkinson, T.J., England, G.C.W., 2009. *Veterinary Reproduction and Obstetrics*. 9th ed. W.B. Saunders Ltd., London, United Kingdom.
- Nyman, A.K., Lindberg, A., Sandgren, C.H., 2011. Can pre-collected register data be used to identify dairy herds with good cattle welfare? *Acta Vet. Scand.* 53, S8.
- Parekh, H.K.B., Singh, A., 1981. Mortality pattern in crossbred of Gir with Friesian and Jersey sires. *Indian J. Dairy Sci.* 51, 419-424.
- Patterson, D.J., Bellows, R.A., Burfening, P.J., Carr, J.P., 1987. Occurrence of neonatal and postnatal mortality in range beef cattle. Part I: calf loss incidence from birth to weaning backward and breech presentations and effect of calf loss on subsequent pregnancy rate of dams. *Theriogenology*. 28, 557-571. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(87\)90273-1](https://doi.org/10.1016/0093-691X(87)90273-1).

- Peeva, T.Z., Ilieva, Y., Boichev, M., 2009. Influence of genetic and environmental factors on stillborn buffalo calves. *Buffalo News*. 24, 18-20.
- Prasad, S., Prasad, R.B., 1998. Measures of reproductive estimates in rural buffalo herds of Meerut district of Uttar Pradesh (India). *Buffalo Bull*. 17, 27-29.
- Rabidas, S.K., Gofur, M.R., Juyena, N.S., Alam, M.G.S., 2015. Controlled Induction of Parturition in the Dairy Buffaloes: An Approach of Success of Buffalo Breeding Farm in Bangladesh. *Asian J. Anim. Sci.* 9, 241-247. <https://doi.org/10.3923/ajas.2015.241.247>.
- Roberts, S.J., 1986. Diseases and accidents during the gestation period. Diagnosis and treatment of the various types of dystocia. Injuries and diseases of the puerperal period. In Roberts SJ editor. *Veterinary obstetrics and genital diseases. Theriogenology* Woodstock, VT: S.J. Roberts. p. 230-3, 337-43.
- Rocha, L.G.S., dos Santos, D.J.A., Tonhati, H., Costa, R.B., Ferreira de Camargo, G.M., 2019. Twinning rate in buffaloes: A case report. *Reprod Dom. Anim.* 54, 808-811. <https://doi.org/10.1111/rda.13425>
- Safari, A., Ghavi Hossein-Zadeh, N., Shadparvar, A.A., Arpanahi, R.A., 2018. A review on breeding and genetic strategies in Iranian buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Trop. Anim. Health Prod.* 50, 707–714.
- Salem, M.M. I., Amin, A.M.S., 2017. Short communication. Risk factors and genetic evaluation of stillbirth trait in buffalo. *Livest. Sci.* 206, 32-134. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.10.020>.
- Schuenemann, G.M., Nieto, I., Bas, S., Galvão, K.N., Workman, J., 2011. Assessment of calving progress and reference times for

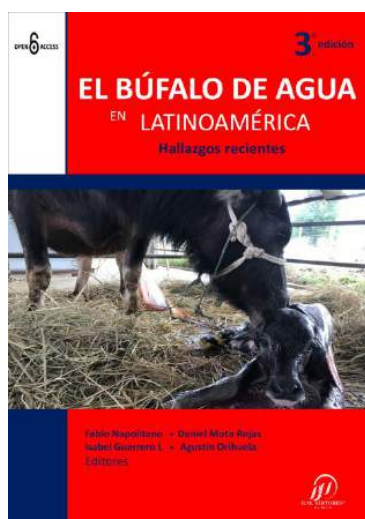
- obstetric intervention during dystocia in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94, 5494-5501. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4436>.
- Screedhar, S., Ranganadham, M., Mohan, E.M., 2010. Calf mortality in indigenous buffaloes. *Indian Vet. J.* 87, 197-198.
- Shadinger, L.L., Andreotti, R.F., Kurian, R.L., 2008. Preoperative sonographic and clinical characteristics as predictors of ovarian torsion. *J. Ultrasound Med.* 27, 7-13. <https://doi.org/10.7863/jum.2008.27.1.7>.
- Shukla, S., Mudasir, Q., Nema, S., 2011. Dystocia due to a conjoined twin monster foetus in a female buffalo. *Buffalo Bull.* 30, 12-13.
- Silva del Rio, N., Stewart, S., Rapnicki, P., Chang, Y.M., Fricke, P.M., 2007. An observational analysis of twin births, calf sex ratio and calf mortality in Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 90, 1255-1264. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)71614-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)71614-4).
- Szücs, E., Gulyas, L., Csiszter, L.T., Demirkan, I., 2009. Stillbirth in dairy cattle: Review. *Lucrari Stiintifice Zootehnie si Biotehnologii.* 42(6)22-636.
- Uematsu, M., Sasaki, Y., Kitahara, G., Sameshima, H., Osawa, T., 2013. Risk factors for stillbirth and dystocia in Japanese Black cattle. *Vet. J.* 198, 212-216. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.07.016>.
- Wittum, T.E., Salman, M.D., Odde, K.J., Mortimer, R.G., King, M.E., 1993. Causes and costs of Calf mortality in Colorado beef herds participating in the national Animal Health Monitoring System. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 203, 232-236.



CAPÍTULO 15

LA IMPRONTA EN LA BÚFALA Y OTROS ANIMALES DE GRANJA: MECANISMOS NEUROFISIOLÓGICOS

Agustín Orihuela, Daniel Mota-Rojas, Rodolfo Ungerfeld, Ana Strappini, Patricia Mora-Medina, Giuseppe De Rosa, Ada Braghieri y Fabio Napolitano



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3^a. Edición

CAPÍTULO 15

La impronta en la búfala y otros animales de granja: mecanismos neurofisiológicos

Agustín Orihuela¹, Daniel Mota-Rojas², Rodolfo Ungerfeld³, Ana Strappini⁴, Patricia Mora-Medina⁵, Giuseppe De Rosa⁶, Ada Braghieri⁷ y Fabio Napolitano⁷

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

²Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México.

³Departamento de Biociencias Veterinarias, Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

⁴Instituto de Ciencia Animal. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

⁵Departamento de Ciencias Pecuarias. Universidad Nacional Autónoma de México. FESC. México.

⁶Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici, Naples, Italia.

⁷Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los mamíferos, el cuidado parental de las crías depende fundamentalmente de la madre (Zilkha et al., 2016). De esta manera, la madre es el contacto social más importante para las crías durante los primeros meses de vida porque, además de alimentar y ofrecer cuidados, proporciona a la descendencia la adquisición de información importante en relación con el entorno tanto físico como social (Mandujano-Camacho, 2010; Mora-Medina et al., 2018a; Orihuela et al., 2019). En este sentido, la madre es también la principal fuente de aprendizaje comportamental y social. Por ello, el vínculo que se genera inmediatamente del nacimiento es de vital importancia para



la sobrevivencia de la cría. Este primer lazo que se desarrolla en las crías incluye la identificación de la madre o del primer individuo u objeto con el que la cría se vincule luego del nacimiento, lo que se conoce como impronta o “*imprinting*” en inglés (Yamaguchi et al., 2012).

En este capítulo se revisan los conceptos de impronta y la importancia de la estimulación sensorial en el establecimiento del vínculo madre-cría. Se presentan además, los procesos neurobiológicos que se desencadenan desde el parto y durante el periodo sensible, los cuales sustentarán la impronta y posterior vínculo madre-cría, poniendo especial énfasis en los búfalos de agua y otras especies domésticas. Se hace referencia además, a los factores del entorno que se deben controlar para que el proceso se genere correctamente durante el periodo sensible.

1. LA IMPRONTA: DEFINICIÓN E IMPORTANCIA

Este término fue planteado originalmente por Konrad Lorenz, quién fue un médico austríaco investigador de la conducta animal y fundador de la disciplina llamada etología. Lorenz, junto a von Frisch y Tinbergen, obtuvieron el premio Nobel de Medicina en 1973 por sus importantes investigaciones científicas (**Figura 1**).

Otras definiciones aceptadas o relacionadas con la impronta son:

1) rápida adquisición de una preferencia clara y estable por un tipo particular de estímulo al que se expone el animal durante un periodo

muy breve de su desarrollo, denominado periodo sensible (Maier, 2001).

2) formación rápida de una unión permanente entre el animal y un objeto notorio de su entorno que puede ser su madre durante el periodo pos-natal precoz (Fraser, 1980).



Figura 1. Historia de la impronta. Aunque el naturalista inglés D.A. Spalding en 1873 y el psicólogo estadounidense W. James en 1887, hablaron y experimentaron sobre los períodos sensibles y el instinto en la etapa temprana después del nacimiento, fue el zoólogo y etólogo austriaco Konrad Lorenz quien postuló la existencia de un período crítico (sensible) en el vínculo filial al que llamó "Prägung", que se tradujo al inglés como "IMPRINTING" (Hess, 1959; Lorenz, 1935). Lorenz acuñó el término "impronta" para referirse a la huella que permanece en el cerebro de los patos recién nacidos con la imagen de su madre, el primer objeto o individuo que encuentran al salir del cascarón (Hess, 1959).

La impronta comprende un periodo limitado que se lo conoce como “periodo crítico” o “periodo sensible”, ya que es la etapa limitada de aprendizaje temprano de los estímulos sensoriales (vista, tacto, olfato y oído) que se intercambian de manera natural con la madre y/o con el entorno durante la fase neonatal (Mora-Medina et al., 2018a;

Yamaguchi et al., 2012; Mandujano-Camacho, 2010). Cualquier interferencia en este periodo sensible, tal como la intervención humana o de algún otro estímulo externo, podría generar la ruptura del vínculo que se estaba estableciendo, o el desarrollo de una impronta errónea, tanto por parte de la madre hacia la cría o de la cría hacia la madre. Esto puede generar serios problemas sociales o conductuales en el caso del neonato, o el rechazo de la madre hacia su cría al no reconocerlo como propio (Madigan et al., 2006). De hecho, el vínculo con la madre influye sobre las preferencias sensoriales de los animales una vez que llegan a la edad adulta, incluyendo los comportamientos alimenticios, maternal y sexual (Shah et al., 2002; Fillion y Blass, 1986). Un ejemplo extremo en rumiantes domésticos fue reportado por Kendrick et al. (1998), quienes demostraron que los corderos que fueron criados por cabras, o los cabritos (chivos) que fueron criados por ovejas, preferían a las hembras de la especie que los crío antes que a las hembras de su propia especie como pareja sexual cuando adultos.

Interferencias durante la impronta, disminuyen la probabilidad de supervivencia del recién nacido o pueden generar problemas que se pueden manifestar hasta en su edad adulta (Galef y Laland, 2005). Por ejemplo, en el caso de animales gregarios, puede generar conflictos en el grupo donde se desarrolle, lo que se atribuye a que durante la impronta el animal no recibió la información o estimulación necesaria de su medio o sus coespecíficos y, por lo tanto, no aprendió a comportarse o a actuar ante situaciones que ameritan un

conocimiento previo (Laland, 1994; Langmore, 1998). El contacto con su madre también influye en estos casos en la intensidad de su gregarismo (Damián et al., 2018a), y por tanto, en la reacción a la separación, o en el desarrollo de su comportamiento sexual (Damián et al., 2018b). Interesante es el caso del búfalo donde en muchos casos se encontró la existencia de cría comunal, con alo-amamantamiento, donde hembras de un mismo grupo amamantan crías ajenas (Murphey et al., 1995; 1991), por lo que el rol que cumple la madre durante este período sensible podría ser al menos parcialmente sustituido por otras madres.

Por todo ello, es fundamental conocer los mecanismos neurobiológicos que se desencadenan desde el parto y durante el periodo sensible para el desarrollo de la impronta y posterior vínculo madre-cría en los animales en general.

2. DEL PARTO AL RECIÉN NACIDO

La descendencia de los mamíferos de diferentes especies (terrestres o acuáticas), nace con distinto grado de madurez en términos de desarrollo motor, sensorial o de termorregulación (Frasier et al., 2010). En consecuencia, el comportamiento de la madre, que debe ser perfectamente adaptado a las necesidades del recién nacido, varía según el grado de desarrollo de las crías al nacimiento (Mora-Medina 2016; Poindron 2005). El estado de desarrollo de los recién nacidos también varía con la especie y el tamaño de la camada, al igual que el

de los patrones de interacción madre-cría (Nowak et al., 2000). Las hembras que viven y se reproducen en colonias grandes y con alta densidad, donde el riesgo de un cuidado maternal mal dirigido es alto, necesitan estrategias selectivas para restringir el cuidado exclusivamente a sus propias crías y, por lo tanto, maximizar su tasa de desarrollo y posibilidades de supervivencia (Nowak et al., 2000). Sin embargo, en otras especies como los búfalos de agua existe otra estrategia, que es la cría grupal como forma de asegurar que todas las crías reciban la atención necesaria (Murphey et al., 1991). Esto incluye el amamantamiento comunal, es decir, amamantamiento de otras madres o alo-amamantamiento (Murphey et al., 1995).

De acuerdo al grado de desarrollo de las crías al nacer, se definen dos tipos de especies: altriciales y precociales. En ese sentido, en las especies altriciales al momento de nacer, las crías no están completamente desarrolladas y tienen limitadas las capacidades sensoriales y del aparato locomotor (por ejemplo, cánidos, félidos, la mayoría de los roedores y lagomorfos). La madre construye un nido, o busca una zona protegida en la que da a luz a una camada de recién nacidos. Dado que la interacción madre-cría comienza en el interior del nido no suele depender tanto del reconocimiento mutuo, sino, más bien, de la continuidad de la relación (Numan et al., 2006; González-Mariscal y Poindron, 2002). En un tipo intermedio de mamíferos, llamado “transportados o albergados por la madre”, los sistemas sensoriales de los recién nacidos son funcionales, pero la termorregulación es ineficiente -como en los cerdos- y sus capacidades

locomotoras limitadas -como en los marsupiales (matricolia interna) y primates (matricolia externa). Por lo tanto, las madres y los recién nacidos de este tipo de mamíferos deben resolver tanto los problemas comunes como los individuales durante el período perinatal (Numan et al., 2006; González-Mariscal y Poindron, 2002; Nowak et al., 2000).

Las especies precoces o precociales, donde se ubica la mayoría de los ungulados, incluyendo a los búfalos, se caracterizan por el nacimiento de una cría completamente desarrollada que es capaz de seguir a la madre poco después del nacimiento. En las especies precociales el vínculo madre-cría se desarrolla desde que tiene lugar el parto e inmediatamente después del mismo, con el fin de garantizar la sobrevivencia de las crías (**Figura 2**). En cambio, en las especies altriciales, esto puede tardar días o incluso semanas (Lezama-García et al., 2019).

En las especies altriciales, las madres cuidan a todas las crías que están dentro del nido, incluso si pertenecen a otra madre. La perra brinda calor y protección a los cachorros y permanece con ellos la mayor cantidad del tiempo.

Solo sale del nido para comer, orinar y defecar, y el resto del tiempo permanece pendiente de las crías al menos, durante las primeras tres semanas de vida del cachorro (Santos et al., 2020).



Figura 2. Desarrollo de la cría. Los estudios sobre el reconocimiento madre-cría indican que en las especies precociales es particularmente importante el desarrollo de la capacidad de identificar a los padres, porque existe un mayor potencial de perder el contacto con el progenitor si la descendencia no está confinada a un nido o madriguera (Sébe et al., 2010). En general, la madre no suele construir un nido, pero desarrolla una relación exclusiva con sus crías (Poindron, 2005). Una excepción a la regla es el comportamiento materno de la cerda, donde a pesar de que el lechón recién nacido tiene uno de los desarrollos motores y sensoriales más altos, la cerda construye un nido y la camada permanece allí durante aproximadamente una semana (Scheiber et al., 2017).

La perra estimula frecuentemente al cachorro: una de las conductas características es empujar con su hocico al cachorro hacia las glándulas mamarias para facilitar el amamantamiento, y durante este tiempo, aprovecha para lamer la región ano-genital de la cría, y estimularla para que orine y defeque (Lezama-García et al., 2019).

En el caso de las ovejas (*Ovis aries*), para que el vínculo se establezca exitosamente, unas horas antes del parto, la oveja se separa del rebaño, lo que facilita la relación temprana con sus crías (Val-Laillet y

Nowak, 2006). El aislamiento sin interferencia de otras ovejas es de suma importancia para el inicio de la relación madre-cría y la supervivencia del cordero, más aún considerando que son especies gregarias (como la mayoría de los ungulados), y otras ovejas podrían interferir en el establecimiento del vínculo durante el periodo sensible. Al pasar por el canal de parto, las crías de la mayoría de los ungulados (incluyendo al becerro de búfalo, ternero o cordero) producen una estimulación de mecanorreceptores ubicados en la región cérvico-vaginal. Esto desencadena el “reflejo de Fergusson”, enviando información a través de la médula espinal al hipotálamo, el que libera oxitocina. Además de estimular la contractilidad a lo largo del canal del parto, esta hormona actúa sobre el bulbo olfatorio de la madre, lo que, a su vez, permite la secreción de dopamina, la cual inicia el período sensible durante el que la madre identifica a su propia descendencia (Singh et al., 2017).

Las crías de especies que se caracterizan por parir una cría completamente desarrollada son capaces de seguir a la madre a poco tiempo del nacimiento (sólo 30 min en las ovejas), dando inicio al amamantamiento dentro de la primer hora de nacidos (Nowak et al., 2000). Durante este periodo, las crías tienen la capacidad de percibir señales olfativas, acústicas, visuales y táctiles del medio ambiente (Numan et al., 2006; González-Mariscal y Poindron, 2002). En el caso de los búfalos se desarrolla un vínculo duradero entre la búfala y el becerro poco después del nacimiento, el que se sostiene con base al comportamiento materno -dependiente de la madre-, y el desarrollo

del vínculo por parte de la cría debido a su capacidad de aprendizaje (Mora-Medina et al., 2018b) (**Figura 3**).

Las especies precociales, como los búfalos, tienen crías bien desarrolladas desde el punto de vista motriz y sensorial, y con un sistema termorregulador eficiente. Las crías de estas especies son capaces de levantarse rápido y seguir a su madre después de nacidas, lo cual está asociado con un proceso de reconocimiento rápido entre ambos a través de diferentes vías sensoriales (**Figura 5**). Sin embargo, en general en esta especie las crías se mantienen ocultas por varios días post-parto, y las madres vuelven junto a ellas por la noche para alimentarlas (De Rosa et al., 2009a). El comportamiento de ocultamiento de las crías, también se presenta en los terneros de carne de la raza Curraleiro Pé Duro, ganado naturalizado en Brasil, como una estrategia que muestran también los ungulados silvestres para proteger las crías de sus depredadores (Castanheira et al., 2013). Para el reconocimiento mutuo y que se desarrolle un adecuado vínculo madre-cría, es importante que la madre y su descendencia permanezcan en contacto cercano, lo cual favorece el aprendizaje por reforzamiento durante el periodo sensible de las señales sensoriales. Los becerros son capaces de percibir señales olfativas, acústicas, visuales y táctiles del medio ambiente.

En especies precociales como el búfalo y la mayoría de los ungulados, la cría es capaz de levantarse poco después del nacimiento, y pueden empezar a mamar en menos de 1 hora, lo cual permite el reforzamiento y reconocimiento mutuo (Dubey et al., 2018).

En general, las crías inician levantando la cabeza, colocándose en posición ventral-esternal, seguidas de intentos vacilantes y secuenciales para ponerse de pie, apoyando primero los miembros torácicos y posteriormente los pélvicos. Estos movimientos le permiten acceder a la ubre y alimentarse (Dubey et al., 2018). Las crías de mamíferos terrestres encuentran la ubre explorando la parte inferior del cuerpo de la madre desde el pecho hasta la ubre, guiada por varias señales que emanan del cuerpo de la madre. Las madres, generalmente ayudan al recién nacido arqueando el lomo y flexionando uno de los miembros posteriores para facilitar el acceso al pezón. Las crías, aprenden rápidamente la posición y la forma de la ubre. Este es un ejemplo de aprendizaje basado en la dinámica de la interacción madre-cría y sobre todo en el refuerzo del amamantamiento como una recompensa positiva (Nowak et al., 2007). Es decir, el comportamiento neonatal posparto está fuertemente influenciado por el comportamiento materno.

En el búfalo Surti las madres agresivas y atentas para proteger a su ternero, paren a crías que acceden a la ubre más rápidamente y destinan mayor tiempo para alimentarse que los nacidos de madres indiferentes o apáticas (Dubey et al., 2018).



Figura 3. Vínculo madre-cría. Una vez finalizado el reconocimiento del binomio madre-cría, también se da por finalizado el período sensible, a partir de lo que la madre raciona cuidados y alimento a su propia descendencia (Mora-Medina et al., 2018).

En este sentido, la conducta materna es el proceso que resulta de los cambios marcados en los perfiles hormonales de todas las hembras mamíferas (Wakerley et al., 1994) incluyendo a la búfala- cuyo fin lleva a la madre a mantener la calma, a proteger a sus crías y finalmente a establecer y desarrollar el amamantamiento (Špinka y Illman, 2015; Alonso-Spilsbury et al., 2007).

Sin embargo, más allá de que en los búfalos exista un reconocimiento individual claro entre la madre y la cría, existen diferentes patrones

comportamentales en la forma de vincularse entre ellos. De hecho, hay madres que además de amamantar a su propia cría, permiten que crías ajenas también mamen, pero esto no ocurre con todas las madres.

Algo similar ocurre del lado de los hijos, ya que, aunque algunas crías se alimentan exclusivamente de sus madres, otras lo intentan con todas las hembras que pueden hacerlo. Sin embargo, es interesante que no exista correspondencia en que esto ocurra siempre dentro de la misma díada, por lo que parece vincularse más a diferentes estrategias individuales, y no a un comportamiento fijo en los integrantes de cada díada (Murphey et al., 1995).

El sexo de la cría puede incidir en este comportamiento y, por tanto, en su ganancia de peso (Paranhos da Costa et al., 2000). A su vez, aquellas hembras que aceptan amamantar a crías ajenas producen más leche que las que no lo hacen (Oliveira et al., 2017). En síntesis, si bien en los búfalos existen una impronta que permite que las madres y las crías se identifiquen individualmente, esto no limita el desarrollo de un sistema de cría comunal.

3. IMPRONTA Y ESTIMULACIÓN SENSORIAL

Es importante mencionar que la impronta va a realizarse por estimulación de los sentidos para que, mediante la plasticidad cerebral, se genere la memoria para identificar al otro individuo. Para ello, las vías sensoriales tienen una importancia relativa que difiere entre especies para la establecer el vínculo entre la madre y la cría (Olazábal et al., 2013; Olazábal-Fenochio et al., 2013). El comportamiento materno es un proceso que resulta de una combinación de factores neuronales, humorales y sensoriales, y da lugar a que la madre alimente y cuide individualmente a su descendencia mediante la manifestación de diversos patrones de conducta orientados a asegurar la viabilidad de las crías.

Durante el periodo sensible se despliegan numerosos canales de comunicación sensorial para asegurar el reconocimiento mutuo entre la madre y su descendencia (Wierucka et al., 2018). Por lo tanto, el desarrollo de la familiaridad social es quizá la etapa más temprana en el proceso de establecimiento de las relaciones sociales y, en consecuencia, es crucial para el desarrollo social normal de los individuos.

En síntesis, el reconocimiento mutuo entre las madres y la descendencia proporciona un modelo excelente de comunicación multimodal para el estudio de las interacciones entre el emisor y el

receptor que se desarrollan durante la impronta y su variación con la especie (**Figura 4**).

En muchas especies el inicio del comportamiento materno es a través del olfato. Por ejemplo, en el ovino la madre aprende a reconocer a la cría por su olor dentro de las primeras dos horas posteriores al nacimiento. Una vez establecido este vínculo, la oveja es muy selectiva y rechaza a cualquier otro cordero que no hubiera sido identificado e intente amamantarse (Poindron, 2005; Keller et al., 2003). Sin embargo, el olfato no es imprescindible en otras especies como en las ratas. Por otro lado, la visión y olfato materno son factores fundamentales en conjunto para establecer el vínculo vaca-becerro (Griffith y Williams, 1996).

En vacas lecheras, el contacto durante 5 min con su ternero inmediatamente después del parto es suficiente para la formación de un vínculo fuerte y específico entre la madre y su cría (Johnsen et al., 2016; Hudson y Mullord, 1977).

En el caso de los ungulados y caninos domésticos y silvestres (Lezama-García, 2019), para el éxito entre la comunicación y posterior reconocimiento madre-cría, se despliegan numerosos canales de comunicación sensorial (Wierucka et al., 2018).



Figura 4. Estimulación sensorial

Para facilitar la comprensión se describen los diferentes tipos de impronta, que pueden clasificarse según la importancia relativa de cada canal de comunicación o el sentido que juegue un papel central o predominante en cada especie animal (**Figura 5**).



Figura 5. Búfala de agua estableciendo el vínculo con su becerro recién nacido.

a) Impronta táctil: Como su nombre lo indica es el reconocimiento por contacto entre individuos, lo que incluso puede darse por termorrecepción, como en cachorros y lechones, los que reconocen el pezón de la madre durante la lactancia (Arenas, 2009; Rosillon-Warnier y Paquay, 1984). El lamido es esencial para el desarrollo y fortalecimiento del vínculo madre-cría (**Figura 6**). El aseo que realiza la

madre en el neonato, genera una estimulación táctil durante el periodo sensible, que generalmente comienza en la cabeza, quizás porque la falta de remoción de las membranas fetales de la cara podría provocar asfixia. La eliminación de los fluidos del parto también puede ayudar a secar el pelaje del recién nacido y reducir la pérdida de calor. Además, lamer puede estimular la actividad de búsqueda de los pezones en las crías (Nowak et al., 2000).

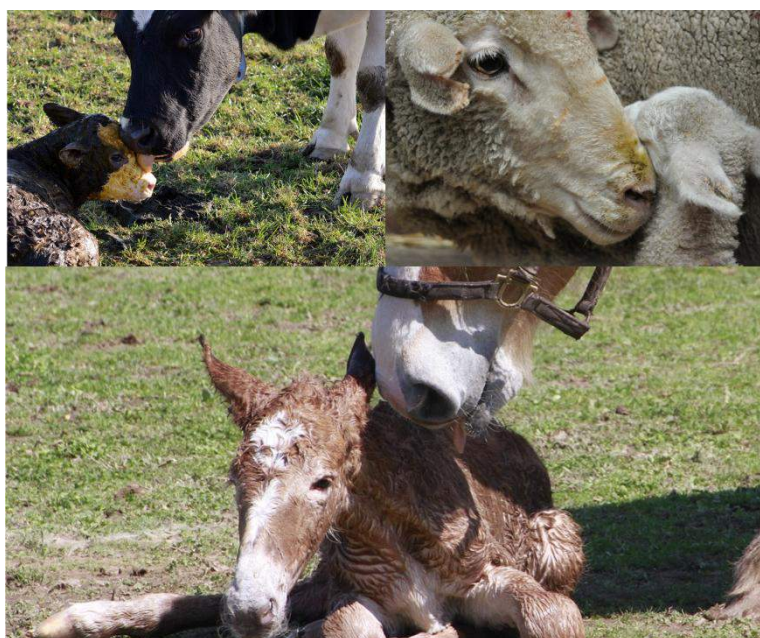


Figura 6. Estimulación táctil por medio del lamido fortalece el vínculo madre-cría.

En las razas de búfalos Murrah y Surti, inmediatamente después del nacimiento, la madre se pone de pie (Dubey et al., 2018), lame a la cría y la olfatea (Yadav et al., 2009). Con esta actividad, la búfala (Dubey et al., 2018) estimula el centro respiratorio, la circulación, la micción y la defecación del becerro (Dubey et al., 2018). El tiempo dedicado a este

comportamiento es más frecuente en la búfala múltipara que en primíparas (Yadav et al., 2009). En ganado de carne, las vacas frecuentemente ingieren algo o toda la placenta 2–6 h después del parto (Von Keyserlingk y Weary, 2007). De todas formas, y tal como queda claro en el párrafo precedente, es importante tener presente que estos comportamientos incluyen varias vías de comunicación actuando en forma simultánea.

El cuidado materno hacia las crías, recibido durante la vida temprana y expresado particularmente con el lamido, influye en el desarrollo cerebral, en el comportamiento y en las habilidades sociales y emocionales para relacionarse con su entorno (Hess, 2008). En la mayoría de los ungulados, a los pocos minutos del parto, la madre comienza a lamer al recién nacido y los fluidos fetales se derraman en el suelo. Las membranas fetales también son consumidas por la madre durante este proceso de acondicionamiento y limpieza de la cría al que se ha denominado placentofagia (Mora-Medina et al., 2018; Nowak et al., 2000). Sin embargo, en algunas especies como los camellos y cerdos no se observan lamidos de la madre en esta etapa. En muchas especies existe una correlación positiva entre la ingesta del líquido amniótico y el consumo de la placenta con la intensidad del vínculo entre la madre y las crías. Esto ocurre por la liberación de señales químicas que funcionan a manera de "firma" de la propia descendencia, sumado a la ingesta de sustancias que disminuyen el dolor post-parto en la madre, como ocurre en los caninos (Dunbar et al., 1981; Abitbol e Inghish, 1997). Es decir, si bien implica un vínculo

táctil, también involucra la comunicación a través de sustancias químicas.



Figura 7. El becerro sigue a la madre sólo a unos minutos de su nacimiento y aún con restos de membranas fetales y líquido amniótico adheridos al pelo

A partir de entonces, el comportamiento de búsqueda de la ubre está guiado por señales termo-táctiles y olfativas (Vince, 1993). Tocar la cara de la cría activa fuertemente la exploración oral y los movimientos de orientación de la cabeza del recién nacido, pero la intensidad de las respuestas depende de las características del estímulo. Por ejemplo, los corderos responden preferentemente a superficies cálidas, suaves, sin presencia de lana (Mora-Medina et al.,

2016). En las ovejas, después del parto y posterior al periodo sensible, las madres nunca, o solo excepcionalmente, acicalan a sus corderos (Nowak y Boivin, 2015)

b) Impronta auditiva: Se ha demostrado que la comunicación vocal madre-cría y el reconocimiento acústico, promueven los cuidados y son componentes importantes en la regulación de las interacciones tempranas del binomio en humanos (Mills y Melhuish, 1974) y otras especies de animales silvestres como los murciélagos (Knörnschill y Von Helversen, 2008; Balcombe, 1990), así como en algunas especies domésticas no tradicionales como los cuyos o cobayos (Kober et al., 2008). Se han estudiado estrategias sofisticadas de reconocimiento en muchos mamíferos sociales donde, por ejemplo, la madre y la descendencia son capaces de usar un proceso de reconocimiento vocal refinado entre padres y crías para encontrarse unos a otros incluso después de largos períodos de tiempo fuera de la vista (De la Torre et al., 2016; Briefer y McElligott, 2011; Charrier et al., 2010; Torriani et al., 2006).

En el caso de los búfalos, la cría emite vocalizaciones que parecen tener como objetivo llamar la atención de la madre, como parte de la estrategia de sobrevivencia del becerro recién nacido (Dubey et al., 2018; Yadav et al., 2009). En el caso de ovejas, tanto la madre como el recién nacido muestran un pico intenso de actividad vocal en las primeras tres horas luego del nacimiento (Mora-Medina et al., 2016). Estos balidos son de tono bajo, quizá para calmar a la cría o para que

la cría reconozca la firma vocal de la madre. A partir de entonces, disminuye drásticamente el número de eventos hasta las 24 h posparto (Sèbe, 2007).



Figura 8. Amamantamiento del becerro. Las posturas de las crías inician levantando la cabeza, colocándose en posición ventral-esternal, seguidas de intentos vacilantes y secuenciales para ponerse de pie, primero los miembros torácicos y posteriormente los pélvicos. Estos movimientos le permiten acceder a la ubre y alimentarse (Dubey et al., 2018).

Como se puede apreciar, el reconocimiento auditivo tiende a ser bidireccional entre la madre y su cría, variando además de acuerdo con varios factores tales como la edad de la cría y el tipo de alojamiento, como en terneros *Bos taurus* (Padilla de la Torre et al., 2016); la raza, en el caso de los ovinos (Pickup y Dwyer, 2011); así como el tiempo para el establecimiento del vínculo (Sèbe et al., 2010).

c) Impronta olfativa: Inmediatamente después del parto, varias especies de madres unguladas como la búfala y la oveja son muy receptivas al olor de sus crías (Sánchez-Andrade et al., 2005). En perros y ovejas, el líquido amniótico posee dos funciones: por un lado, resulta atractivo para la madre post-parto facilitando la aceptación de su cría o la de crías extrañas impregnadas con su propio líquido, y por otro, ayuda a desarrollar la selectividad materna y el establecimiento del vínculo madre-cría en ovejas (Poindron et al., 2010) y cerdas (Špinka et al., 2002).

En las ovejas, es necesario que se produzca el reconocimiento de las señales químicas del cordero dentro de las primeras dos horas postparto, especialmente a través el pelaje de la región anal. La oveja tiene una especial predilección por esta zona, ya que la lame con mayor frecuencia que cualquier otra parte del cuerpo del cordero (Mora-Medina et al., 2016; Ramirez et al., 2011). Algunos autores plantean que, en esta especie, el órgano vomeronasal juega un rol en el reconocimiento de las sustancias químicas que emanan del cordero (Mota-Rojas et al., 2018; Booth y Katz, 2000). Sin embargo, en pequeños rumiantes el olfato deja de ser eficiente en distancias superiores a 0,25 m (Poindron et al., 2003; Alexander, 1978), de ahí la importancia que la madre y su cría se encuentren próximas durante el periodo sensible.

A nivel cerebral la plasticidad relacionada con la proliferación celular ocurre en áreas específicas del cerebro de la madre, así como en el bulbo olfatorio principal, durante el período del posparto temprano. El

cerebro materno se modifica remodelando los circuitos neurales, especialmente las estructuras olfativas. A este proceso se le denomina neurogénesis adulta, un tipo de plasticidad cerebral que podría constituir una respuesta adaptativa a la maternidad (Corona et al., 2018). Esto podría facilitar el desarrollo de una memoria olfativa que permanece para favorecer la atención y la subsecuente supervivencia del recién nacido. Por tanto, se cree que la capacidad del sistema olfativo para generar nuevas interneuronas cumple una función importante en situaciones sociales en las que el olfato juega un papel fundamental, como sería el reconocimiento de las crías durante el periodo sensible. Además, las interacciones con el cordero recién nacido aceleraran la maduración de estas nuevas neuronas en el bulbo olfatorio materno (Corona et al., 2018; Mora-Medina et al., 2016; Brennan y Kendrick, 2006).

d) Impronta visual: Este tipo de impronta es común en animales domésticos como cabras, caballos y perros. Es estimulada por la visión, en la cual, la cría reconoce y sigue el objeto o individuo movable que puede proporcionarle un sustento no solo emocional, sino también alimenticio y de protección. Sin embargo, la eficiencia se vincula con la distancia y con la edad. Keller et al. (2003) encontraron que en ovejas, la eficiencia de la vista para reconocer a sus corderos a la distancia es mayor en ovejas múltiparas que primíparas. Por ello se plantea que la experiencia materna tiene un efecto diferencial sobre la dinámica en estos procesos de aprendizaje.

4. IMPRONTA COMO APRENDIZAJE SENSORIAL

El aprendizaje es un proceso complejo que involucra la adquisición, almacenamiento y recuperación de información, todo lo que forma la memoria y el cúmulo de memoria a largo plazo y consolida el comportamiento aprendido (Fraser 1980; Horn, 1981). La teoría fisiológica del aprendizaje establece que la única condición necesaria entre la asociación de un estímulo y una respuesta es la relación cercana temporal entre ellos (reforzamiento).

El tiempo necesario para formar la memoria varía entre especies (Rubenstein y Alcock, 2019), pero comienza en un periodo crítico o sensitivo en la vida del animal en el cual se produce cierto aprendizaje importante para su desarrollo como especie (Mandujano-Camacho, 2010; Fraser, 1980). Por esta razón la contigüidad y notoriedad del neonato con su madre hace que ambos estén fuertemente unidos durante el periodo sensible, más aún en especies gregarias (Nowak et al., 2011). Una impronta forzada no es efectiva al paso del tiempo como lo es la impronta natural que ocurre en el momento preciso, bajo el contexto conductual correcto, permitiendo que la conducta trascienda en el tiempo. Algunos de los periodos críticos coinciden con episodios de actuación aguda de los sentidos como la visión, la audición, el olfato e incluso el tacto, de tal forma que quizá la impronta se dispara con base en el sentido dominante de la especie, además del estado de motivación apropiadamente orientado (Maier, 2001; Fraser, 1980). Esto ayuda a que el contacto social temprano de

las crías determine el carácter del comportamiento social como adulto (Mandujano-Camacho, 2010). Además, si se permite la introducción de varios estímulos de diferente magnitud, frecuencia y con consecuencias positivas, la cría estará cognitivamente mejor preparada para enfrentar el entorno. De ahí la importancia de que durante el periodo sensible no existan interferencias entre la madre y su descendencia.

5. MECANISMO NEUROBIOLÓGICO DE LA IMPRONTA EN EL PERIODO SENSIBLE

La impronta ocurre en varias etapas, dentro de diferentes estructuras cerebrales, con la consiguiente liberación de la cascada hormonal que permite desarrollar un aprendizaje temprano (Dietrich, 2004). Este proceso involucra no solo el estímulo de activación a través de los sentidos, sino que también, una modificación neuronal para que el individuo pueda adquirir, almacenar y recuperar información en el momento que se requiera durante su adultez (Mandujano-Camacho, 2010). La creación de esta memoria mediante la experiencia se verá reflejada en el comportamiento del individuo ante situaciones que alteren su medio o su funcionamiento biológico (Horn, 2004).

La conducta de lamer a las crías es propia de la gran mayoría de los mamíferos, influye en el desarrollo cerebral, el comportamiento, las habilidades sociales y emocionales para relacionarse en las crías de muchos mamíferos. Al existir diferentes tipos de impronta, es lógico suponer que el sitio de activación y modificación cerebral es diferente,

aunque todas están en íntima relación. En el caso de la impronta auditiva y visual, tienen como sitio principal de acción la región dorsal de los hemisferios cerebrales o techo del cerebro anterior, sobre todo el lado izquierdo en pollos (Horn 1981; Horn et al., 1979), lo que correspondería a regiones del córtex en mamíferos, posiblemente las áreas prefrontal y cingulada. Además, estas regiones reciben aferencias de las áreas sensoriales primarias en la región anterior del cerebro (Bradley, 1985; Horn, 1985). En estas áreas es donde se produce una mayor actividad cerebral durante el proceso de impronta (Horn, 2004). Sin embargo, la madre requiere la presencia de las crías para desarrollar un enriquecimiento cognitivo, el que es dependiente de la corteza prefrontal media y no depende del número de partos.

En especies como los equinos, perros, gatos o ratas, en los que el gusto o lamido tiene mayor importancia, el hipocampo tiene un rol central. Éste pertenece al sistema límbico ubicado a los lados del tálamo, y es clave para desarrollar una respuesta autonómica, endocrina, memoria inconsciente, instintos y la regulación de estados emocionales ante estresores externos (Bale y Vale, 2004; Bale et al., 2002).

Otra de las estructuras que se relacionan con la impronta es el núcleo accumbens, que juega un rol clave para lograr la interacción motivacional. Éste ha sido asociado con emociones positivas que involucran incentivos o aspectos motivacionales de interacción social. Esto se debe a que la impronta necesariamente requiere de una interacción social (Bustos, 2008). Dicho sistema motivacional tiene

bases neurobiológicas en la vía dopaminérgica mesocortico-límbica, y es un mecanismo que dispara la actividad motora para que se lleven a cabo mecanismos sensomotores que impulsan al animal a buscar fuentes de gratificación, tales como el amamantamiento, el acicalamiento e incluso el juego con sus congéneres (Insel y Young, 2001). Es importante mencionar que dentro de este sistema dopaminérgico mesencefálico existen subgrupos en el área del tegumento ventral, que proyecta al sistema límbico e incluye bulbo olfatorio, tubérculo olfatorio, amígdala y núcleo accumbens que es parte del cuerpo estriado ventral asociado al sistema límbico (Bustos, 2008).

Parte importante de todo el proceso de impronta está íntimamente relacionado con todas las estructuras del sistema límbico. Este sistema se considera uno de los más primitivos que se encuentran en los mamíferos. La impronta se relaciona con las emociones, tanto positivas, como negativas (Guardini et al., 2017; Ikemoto y Panksepp, 1999).

6. NEUROMODULACIÓN DE LA IMPRONTA

La impronta involucra la comunicación dentro del sistema nervioso a través de neurotransmisores que incluso inducen alteraciones morfológicas (plasticidad neuronal) para crear conexiones nuevas a medida que la cría va aprendiendo (Castro-Sierra et al., 2007). Existen

neurotransmisores específicos que forman parte esencial del desarrollo del vínculo madre-cría o cría-madre.

Durante el parto se liberan estrógenos y oxitocina, los que contribuyen a desarrollar de manera óptima la formación de una cría adaptada con su entorno y todo lo que esto involucra (Love, 2014). Sin embargo, después de unas horas, la concentración de estas hormonas disminuye, por lo que, si no se produjo el reconocimiento temprano, el vínculo puede no establecerse adecuadamente más tarde (Mora-Medina et al., 2018b).

En el sistema nervioso central, las neuronas que secretan oxitocina envían proyecciones a diversas zonas, incluyendo la amígdala, el hipocampo, el núcleo accumbens y el área tegmental ventral. La oxitocina es liberada en respuesta a estresores físicos y psicológicos y ante diversos estímulos sociales positivos o satisfactorios (Love, 2014), los que son fundamentales para la formación del vínculo. Tanto en estudios hechos en humanos como en especies animales no humanas, se han identificado sistemas biológicos que contribuyen a la conducta materna, enfocándose en el sistema oxitocinérgico y dopaminérgico. La oxitocina activa las vías dopaminérgicas en respuesta a señales sociales (Strathearn, 2011).

En las hembras, el núcleo paraventricular (NPV) tiene un papel relevante durante el desarrollo del vínculo madre-cría en la etapa sensible, debido a que activa ciertos órganos de los sentidos. Por ejemplo, el ingreso de oxitocina desde el NPV a la corteza auditiva

mejora la respuesta neuronal al llamado de las crías. Esto ocurre después de que las entradas inhibitorias desde el NPV a la corteza auditiva primaria se modulan durante la transición a la maternidad (Zilkha et al., 2016), por lo que se plantea que la oxitocina tiene efectos benéficos en la flexibilidad cognitiva del comportamiento materno (Albin-Brooks et al., 2017).

En numerosas especies no humanas se demostró el papel de la oxitocina endógena en la mediación del inicio del comportamiento materno. Por ejemplo, en ratas, la oxitocina claramente media el inicio de la conducta materna (Pedersen, 1994).

La manipulación perinatal del sistema de oxitocina en animales proporciona una evidencia fuerte de conductas maternas disfuncionales posteriores (Boccia et al., 2007). De este modo, el comportamiento óptimo de la madre se bloquea en ovejas y vaquillas cuando la oxitocina no se libera en el parto fisiológico debido a la anestesia regional y la posterior falta de estimulación vaginocervical. En primates no humanos, el comportamiento maternal óptimo puede alterarse con una inyección de oxitocina sintética o un antagonista (Keverne y Kendrick, 1992). En el período posparto, la oxitocina puede afectar la ansiedad y la depresión. Uno de los cambios que se cree que son necesarios para el comportamiento materno normal, es la disminución de la ansiedad durante el período posparto (Rich et al., 2014), que permite que una madre acepte más fácilmente la descendencia, además de facilitar la vinculación social (Caldwell,

2012). Por otro lado, la administración exógena de oxitocina a crías de rata en los primeros días de vida induce una disminución de la concentración de corticosterona, de la presión arterial y un aumento de peso en adultos (Sohlstrom et al., 2000).

La prolactina es una hormona polipeptídica que se sintetiza y secreta por células denominadas lactotropos, ubicados en la pituitaria anterior (adenohipófisis). Aunque la prolactina es más conocida por su papel en la producción de leche, también tiene un rol importante en el cuidado materno y comportamiento de los padres en aves y mamíferos (Chaiseha et al., 2012). Durante la gestación aumenta la concentración de prolactina, lo que estimula la neurogénesis en la zona subventricular del ventrículo lateral del cerebro materno. Por tanto, bajos niveles de prolactina durante la gestación temprana y la consiguiente supresión de la neurogénesis en el cerebro de las madres adultas se asocian con mayor ansiedad posparto y comportamiento materno notablemente alterado (Larsen y Grattan, 2012).

7. FACTORES QUE INTERFIEREN CON LA IMPRONTA DURANTE EL PERIODO SENSIBLE

Se debe considerar que la impronta tiene una etapa crítica durante la cual cualquier condición interna o externa a la madre y su descendencia puede comprometer no sólo el vínculo madre-cría, sino el propio aprendizaje e inclusive el bienestar y supervivencia de la cría. Esto incluye la interferencia por la interacción humana o de algún otro estímulo externo de la propia instalación o del ambiente natural, lo

que puede llevar a la ruptura o la impronta errónea, ya sea de la madre a la cría o de la cría hacia la madre. Esto puede conducir a problemas reproductivos, sociales o conductuales en el caso del neonato, o el rechazo de la madre hacia su cría por la falta de reconocimiento de este (Madigan et al., 2006). Además de disminuir la probabilidad de supervivencia del recién nacido, se pueden generar problemas de comunicación con sus coespecíficos en su adultez (Galef y Laland, 2005). Es decir, esto se afectaría al no recibir la información necesaria del medio o de sus padres para saber cómo comportarse o cómo actuar ante situaciones que ameritan un conocimiento previo (Langmore, 1998; Laland, 1994). Algunos de los elementos que pueden interferir este intercambio sensorial se han clasificado en factores inherentes a los animales y factores del sistema de producción.

a) Factores inherentes a los animales:

Una madre primípara inexperta, o con pobre condición corporal o bien, con varias crías puede mostrar alguna incapacidad o distracción para reconocer y atender a más de una cría. Esto se acentúa si se desplaza de su lugar de parto o sufre estrés o perturbaciones de cualquier tipo, a pesar del importante estímulo que se genera ante la presencia de sus crías (González-Stagnaro, 2012). Entre estos factores se encuentran:

Experiencia de la madre. Las hembras primerizas pueden mostrar inadecuado comportamiento materno hacia su recién nacido, o incluso

abandonarlo (González et al., 2015; Meurisse et al., 2005). De hecho, las búfalas y las ovejas primíparas son más propensas a mostrar conductas agresivas o abandonar a las crías (Mota-Rojas et al., 2019a,b), por lo que también aumenta la mortandad de las crías de búfalas primíparas (Ghavi Hossein-Zadeh et al., 2012; El-Regalaty y Aboul-Ela, 2011). Por el contrario, las madres con mayor experiencia reducen los comportamientos maternos negativos, incrementando las conductas afiliativas (Dwyer y Lawrence, 2000). La conducta negativa de las madres primíparas se explica por su falta de experiencia, debida a su menor edad, mayor ansiedad y la neofobia por la presencia de la cría, pero desde el punto de vista fisiológico se explica por la activación de vías oxitocinérgicas centrales a partir del primer parto, que ya quedan sensibilizadas para los partos siguientes. Por otro lado, los terneros nacidos de búfalas Murrah primíparas son generalmente más precoces que los nacidos de búfalas múltiparas. Los comportamientos negativos de algunas madres unguladas, como las ovejas, búfalas y cabras durante el parto y/o durante la lactancia incluyen no buscar un lugar protegido y aislado del resto del rebaño para parir; no mantenerse cerca del cordero después del parto; permanecer poco tiempo para el cuidado después del parto; mostrar aversión, agresividad hacia el recién nacido evitando su acceso a la ubre para alimentarse; abandonar al recién nacido puede ser el resultado de un vínculo materno-filial mal establecido, lo que lleva a una mayor mortalidad de los corderos. Esto puede deberse a varias causas como la incapacidad de ser identificada por la madre por el

bajo nivel en la limpieza del cordero, que la cría no emita las vocalizaciones (balidos) con la frecuencia necesaria, que estos balidos sean de baja intensidad, poca vigilancia e incremento de la distancia entre la madre y el cordero (Dwyer, 2008; Dwyer y Smith, 2008; Dwyer y Lawrence, 2000). Los corderos nacidos de ovejas primíparas demoran más tiempo en pararse, en mamar, y lo logran luego de realizar más intentos, que los hijos de ovejas multíparas (Dwyer, 2003; Owens et al., 1985). Además, las ovejas primíparas emiten vocalizaciones más agudas que las ovejas multíparas, despliegan más conductas de desplazamiento y tienden a retirarse de los corderos cuando las crías hacen el esfuerzo de buscar la ubre para alimentarse. Por el contrario, las hembras multíparas muestran mayor tasa de olfateo a sus crías que las primíparas.

Raza de la madre. Algunas razas presentan más cuidados maternos que otras, por lo que establecen más fuertemente el vínculo madre-cría. Por ejemplo, las vacas Curraleiro Raza Pé Duro frecuentemente abandonan su descendencia para buscar agua y comida, lo cual podría romper el desarrollo del vínculo madre-cría durante el periodo sensible (Castanheira et al., 2013). Las ovejas Dorset con cuernos y algunas madres híbridas (Border Leicester x Merino) presentan mayor capacidad materna, permaneciendo junto a sus corderos incluso durante el manejo humano. Por el contrario, existe una frecuencia alta de abandono de las crías por parte de ovejas de raza Merino o Romney.

Número de crías al parto. Otro factor que afecta el establecimiento del vínculo durante el periodo sensible es el número de crías nacidas. El abandono de corderos aumenta en razas poco maternales como las Merino cuando paren gemelos, ya que, al cuidar a un cordero, no esperan o prestan atención a la segunda cría. De hecho, en el caso de mellizos, el segundo cordero recibe menos lamidos por parte de la madre que el primero (O'Connor et al., 1995), un comportamiento que se vincula con el reconocimiento y la probabilidad de supervivencia. Además, la debilidad de los corderos al nacer contribuye a la separación permanente de las madres con parto gemelar.

Parto distócico. La presentación de dificultades en el parto, con tiempos prolongados de expulsión, aumenta la mortalidad en crías de mayor tamaño, en nacimientos individuales, ya que estas complicaciones provocan comportamientos inapropiados tanto de la madre como del neonato (Purohit et al., 2011). Las madres con trabajo de parto prolongado y partos complicados no pueden manifestar un buen cuidado hacia la cría debido al agotamiento y dolor prolongado causado, por lo que abandonan a los recién nacidos con más frecuencia que aquellas madres en las que el parto no requiere ser asistido o que fácilmente nace la cría de forma natural. También es importante tener en cuenta que los neonatos de partos difíciles y prolongados son menos vigorosos y requieren más tiempo para mantenerse de pie, llegar a la ubre y alimentarse con éxito (Mota-

Rojas et al., 2019a,b; Darwish y Ashmawy, 2011). En el caso de los búfalos, la incidencia de problemas de distocia es mayor en crías macho que hembras (Amjad Ali et al., 2016), coincidiendo con la mayor mortandad de machos (Colmenares et al., 2009).

b) Factores relacionados con el entorno

Cualquier situación que provoque estrés en la madre o la cría dentro de la unidad de producción intensiva o extensiva, tendrá consecuencias directas sobre la salud, el bienestar y el éxito reproductivo de los animales; por ejemplo, los acontecimientos ocurridos antes del nacimiento y durante las primeras semanas de vida afectan el proceso de impronta, el comportamiento de la descendencia y su adaptación al medio ambiente, por lo que el tipo de sistema de producción en donde nace la cría y el nivel nutricional de la madre gestante tendrían implicaciones sobre el bienestar de los recién nacidos.

Tipo de sistema de producción. Los animales gregarios son muy sensibles al estrés por separación del rebaño. Por ello, la separación temprana, antes de que se haya desarrollado el vínculo madre-cría, es considerado el principal factor de estrés en este binomio (madre-cría). Algunos sistemas de producción intensiva combinan dos factores que son considerados como agentes potencialmente estresantes durante el destete: la separación física de la madre y la cría, así como la modificación de los hábitos de alimentación en los recién nacidos

(Orgeur et al., 1998). Este destete implica también repercusiones físicas y metabólicas asociadas al estrés. En este sentido, se ha demostrado que sometiendo a las ovejas a la restricción y el aislamiento provoca estrés con el incremento notable en las concentraciones plasmáticas de ACTH y cortisol (Minton et al., 1992; Coppinger et al., 1991; Minton y Blecha, 1990), lo cual interfiere con el desarrollo de la impronta y del vínculo madre-cría.

CONSIDERACIONES FINALES

El desarrollo de la impronta es un proceso que implica diversos factores fisiológicos, anatómicos e incluso etológicos, y la ausencia o el exceso de alguno de estos factores, podría ocasionar la presencia de algún problema que afecte el comportamiento y con ello también el bienestar animal.

La impronta tiene una gran diversidad de formas de desarrollarse entre las diferentes especies, ya sean mamíferos o no mamíferos, terrestres o acuáticos, pero el correcto desarrollo, sigue representando, sin importar la especie, un beneficio tanto para el productor como para el animal. Los mecanismos neurofisiológicos, así como la intervención del Sistema Nervioso Central, son cruciales para el establecimiento de la impronta en los animales.

La expresión del comportamiento materno influye directamente sobre la probabilidad de supervivencia neonatal, ya que las tasas de mortalidad existentes entre el nacimiento y el destete se encuentran

relacionadas con el vínculo madre-cría desarrollado durante el periodo sensible. La conducta materna es el proceso que resulta de los cambios en los perfiles hormonales de todas las hembras mamíferas, y resulta exitosa cuando se realiza el mutuo reconocimiento de la madre con su descendencia. La cantidad y la calidad de cuidado materno recibido durante la vida temprana en el periodo crítico o sensible repercute en el patrón de comportamiento y en el aprendizaje de los recién nacidos, así como también en la mejora de las relaciones entre sus coespecíficos.

REFERENCIAS

- Abitbol, M.L., Inglish, S.R., 1997. Role of amniotic fluid in newborn acceptance and bonding in canines. *J. Fetal Med.* 6, 49-52.
- Aboitiz, F., Montiel, J., 2001. Anatomy of “mesencephalic” dopaminergic cell groups in the central nervous system. In *Role of Reactive Catecholamine Species in Neurodegeneration and Apoptosis of Dopaminergic Neurons* (Eds.) J. Segura. F.P. Graham, New York, Pp. 1-19.
- Alexander, G., 1978. Odour, and the recognition of lambs by Merino ewes. *Appl. Anim. Ethol.* 4, 153–158.
- Alonso-Spilsbury, M., Ramirez-Necoechea, R., Gonzalez-Lozano, M., Mota-Rojas, D., Trujillo-Ortega, M.E., 2007. Piglet survival in early lactation: a review. *J. Anim. Vet. Adv.* 6, 76-86

- Albin-Brook,s C., Nealer, C., Sabihi, S., Haim, A., Leuner, B., 2017. The Influence of offspring, parity, and oxytocin on cognitive flexibility. *Horm. Behav.* 89, 130-136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.yhbeh.2016.12.015>.
- Amjad Ali, M., Lodhi, L.A., Awais, M.M., Hassan, F.U., Ahmad, W., 2016. Effect of birth weight and sex of the calf on incidence of calving disorders in buffaloes in Punjab province, Pakistan (a case study). *Sci. Int. (Lahore)* 28, 3179-3182.
- Arenas, A., 2009. Aprendizaje olfativo temprano en la abeja (*Apis mellifera*) y su rol en la toma de decisiones relacionadas con la obtención de recursos. Doctoral dissertation. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Balcombe, J.P., 1990. Vocal recognition of pups by mother Mexican free-tailed bats, *Tadarida brasiliensis mexicana*. *Anim. Behav.* 39, 960-966.
- Bale, T.L., Picetti, R., Contarino, A., Koob, G.F., Vale, W.W., Lee, K.F., 2002. Mice deficient for both corticotropin-releasing factor receptor 1 (CRFR1) and CRFR2 have an impaired stress response and display sexually dichotomous anxiety-like behavior. *J. Neurosci.: Official J. Society Neurosci.* 22, 193-199.
- Bale, T.L., Vale, W.W., 2004. CRF and CRF receptors: role in stress responsivity and other ehaviors. *Ann. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 44, 525-557.

- Boccia, M.L., Goursaud, A.P.S., Bachevalier, J., Anderson, K.D., Pedersen, C.A., 2007. Peripherally administered non-peptide oxytocin antagonist, L368,899®, accumulates in limbic brain areas: A new pharmacological tool for the study of social motivation in non-human primates *Horm. Behav.* 52, 344-351.
- Booth, K.K., Katz, L.S., 2000. Role of the vomeronasal organ in neonatal offspring recognition in sheep. *Biol. Reprod.* 63, 953–958.
- Bradley, P., 1985. Development of two regions of the chick telencephalon. *Dev. Brain Res.* 20, 83-88.
- Brennan, P.A., Kendrick, K.M., 2006. Mammalian social odours: attraction and individual recognition. *Philosoph. Trans. Royal Society B: Biolog. Sci.* 361, 2061-2078.
- Briefer, E., McElligott, A.G., 2011. Mutual mother-offspring vocal recognition in an ungulate hiders species (*Capra hircus*). *Anim. Cog.* 14, 585-598. <https://doi.org/10.1007/s10071-011-0396-3>
- Bustos, M., 2008. Núcleo accumbens y el sistema motivacional a cargo del apego. *Rev. Chilena Neuro-psiquiatría* 46, 207-215.
- Caldwell, H.K., 2012. Neurobiology of sociability. *Adv. Exp. Med. Biol.* 739, 187–205. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1704-0_12.
- Castanheira, M., McManus, C.M., Neto, P., da Costa, M., Méndez, F.D., Sereno, J.R., Cardoso, M.F.D., Bezerra, S.J.R., Damo, B.C., Soares, F.M.C., 2013. Maternal offspring behaviour in Curraleiro Pé Duro naturalized cattle in Brazil. *Rev. Bras.*

- Zootecn. 42, 584-591. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982013000800008>
- Castro-Sierra, E., Chico, P.L.F., Gordillo, D.L.F., Portugal, R.A., 2007. Neurotransmisores del sistema límbico. Hipocampo, GABA y memoria. Primera parte. Salud mental 30, 7-15.
- Chaiseha, Y., Ngernsoungrer, P., Sartsoongnoen, N., Prakobsaeng, N., El Halawani, M.E., 2012. Presence of prolactin mRNA in extra-pituitary brain areas in the domestic turkey. Acta Histochem. 114, 16-121.
- Charrier, I., Burlet, A., Aubin, T., 2010. Social vocal communication in captive Pacific walruses *Odobenus rosmarus divergens*. Mamm. Biol. 76, 622-627. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2010.10.006>
- Colmenares, O., Coss, D., Vargas, D., Herrera, P., Birbe, B., 2009. Análisis de sobrevivencia hasta el destete de un rebaño bufalino en condiciones de sabanas bien drenadas. Zootecnia Trop. 27, 105-111.
- Coppinger, T.R., Minton, J.E., Reddy, P.G., Blecha, F., 1991. Repeated restraint and isolation stress in lambs increases pituitary-adrenal secretions and reduces cell-mediated immunity. J. Anim. Sci. 69, 2808-2814.
- Corona, R., Meurisse, M., Cornilleau, F., Moussu, C., Keller, M., Lévy, F., 2018. Disruption of adult olfactory neurogenesis induces deficits in maternal behavior in sheep. Behav. Brain Res. 347, 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2018.02.043>

- Damián, J.P., Beracochea, F., Machado, S., Hötzel, M.J., Banchero, G., Ungerfeld, R., 2018b. Growing without a mother results in poorer sexual behaviour in adult rams. *Animal* 12, 98-105.
- Damián, J.P., Hötzel, M.J., Banchero, G., Ungerfeld, R., 2018a. Growing without a mother during rearing affects the response to stressors in rams. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 209, 36-40.
- Darwish, R.A., Ashmawy, T.A.M., 2011. The impact of lambing stress on post-parturient behaviour of sheep with consequences on neonatal homeothermy and survival. *Theriogenology* 6, 999-1005.
- De la Torre, M.P., Briefer, E.F., Ochocki, B.M., McElligott, A.G., Reader, T., 2016. Mother-offspring recognition via contact calls in cattle, *Bos taurus*. *Anim. Behav.* 114, 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.02.004>.
- De Rosa, G., Grasso, F., Braghieri, A., Bilancione, A., Di Francia, A., Napolitano, F., 2009a. Behavior and milk production of buffalo cows as affected by housing system. *J. Dairy Sci.* 92, 907-912.
- Dietrich, A., 2004. The cognitive neuroscience of creativity. *Psychon. Bull. Rev.* 11, 1011-1026. <https://doi.org/10.3758/BF03196731>.
- Dubey, P., Singh, R.R., Choudhary, S.S., Verma, K.K., Kumar, A., Gamit, P.M. 2018. Post parturient neonatal behaviour and their relationship with maternal behaviour score, parity and sex in

- Surti buffaloes. J. Appl. Anim. Res. 46, 360-364.
<https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1306533>
- Dunbar, I., Ranson, E., Buehler, M., 1981. Pup retrieval and maternal attraction to canine amniotic fluids. Behav. Process. 6, 249-260.
- Dwyer, C.M., 2008. Genetic and physiological determinants of maternal behavior and lamb survival: implications for low-input sheep management. J. Anim. Sci. 86, E259-E270.
<https://doi.org/10.2527/jas.2007-0404>.
- Dwyer, C.M., Lawrence, A.B., 2000. Maternal behaviour in domestic sheep (*Ovis aries*): constancy and change with maternal experience. Behav. 137, 1391-1413.
<https://doi.org/10.1163/156853900501999>
- Dwyer, C., Smith, L. 2008. Parity effects on maternal behaviour are not related to circulating oestradiol concentrations in two breeds of sheep. Physiol. Behav. 93, 148-154.
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.08.007>
- El-Regalaty, H.A., Aboul-Ela, H.B., 2014. Non-genetic factors affecting incidence of abortion, stillbirth and post-natal mortality of Egyptian buffaloes. J. Anim. Poultry Prod. 5, 313-324.
<https://doi.org/10.21608/jappmu.2014.70513>
- Fillion, T.J., Blass, E.M., 1986. Infantile experience with suckling odors determines adult sexual behavior in male rats. Sci. 231, 729-731.

- Fox, S.I., 2008. Fisiología humana. Mcgraw-hill interamericana. 12ava. ed. Madrid., España. pp. 810.
- Fraser, A.F., 1980. Comportamiento de los animales de granja. Acribia. Zaragoza, España. pp. 292.
- Frasier, T.R., Hamilton, P.K., Brown, M.W., Kraus, S.D., White, B.N., 2010. Reciprocal Exchange and Subsequent Adoption of Calves by Two North Atlantic Right Whales (*Eubalaena glacialis*). Aquatic Mamm. 36, 115-120.
- Galef, B.G., Laland, K.N., 2005. Social learning in animals: empirical studies and theoretical models. AIBS Bull. 55, 489-499.
- Ghavi Hossein-Zadeh, N., Madad, M., Shadparvar, A., Kianzad, D., 2012. An observational analysis of secondary sex ratio, stillbirth and birth weight in Iranian Buffaloes (*Bubalus bubalis*). Journal of Agricultural Sciences and Technology 14, 1477-1484.
- González, E.G., Cuellar, A., Hernández, H., Nandayapa, E., Álvarez, L., Tórtora, J., Terrazas, A., 2015. Maternal experience in Romanov sheep impairs mother-lamb recognition during the first 24 hours postpartum. J. Vet. Behav. 10, 66-72.
- González-Mariscal, G., Poindron, P., 2002. Parental care in mammals: immediate internal and sensory factors of control. In: Pfaff DW, Arnold AP, Etgen AM, Fahrbach SE, Rubin RT (eds): Hormones, Brain and Behavior. 1st ed. Academic Press, San Diego. 215-298. <https://doi.org/10.1016/B978-012532104-4/50005-6>

- González-Stagnaro, C., 2012. Comportamiento maternal en ovejas West African y mortalidad de corderos. *Mundo Pecuario* 8, 33-48.
- Griffith, M.K., Williams, G.L., 1996. Contribution of maternal vision and olfaction to suckling-mediated inhibition of LH secretion, the expression of maternal selectivity, and lactation in beef cows. *Biol. Reprod.* 54, 761-768.
- Guardini, G., Bowen, J., Mariti, C., Fatjó, J., Sighieri, C., Gazzano, A., 2017. Influence of maternal care on behavioural development of domestic dogs (*Canis familiaris*) living in a home environment. *Animals* 7, 93. <https://doi.org/10.3390/ani7120093>
- Hess, E.H., 1959. Imprinting: An effect of early experience, imprinting determines later social behavior in animals. *Sci.* 130, 133-141.
- Horn, G., McCabe, B.J., Bateson, P.P.G., 1979. An autoradiographic study of the chick brain after imprinting. *Brain Res.* 168, 361–373.
- Horn, G., 1981. Neural mechanisms of learning: an analysis of imprinting in the domestic chick. *Proc. Royal Society London. Series B* 213, 101-137.
- Horn, G., 1985. *Memory, Imprinting and the Brain*. Oxford University Press, New York, USA. Pp. 400.
- Horn, G., 2004. Pathways of the past: the imprint of memory. *Nat. Rev. Neurosci.* 5, 108. <https://doi.org/10.1038/nrn1324>.

- Hudson, S.J., Mullord, M.M., 1977. Investigations of maternal bonding in dairy cattle. *Appl. Anim. Ethol.* 3, 271-276.
- Ikemoto, S., Panksepp J., 1999. The role of nucleus accumbens dopamine in motivated behavior: a unifying interpretation with special reference to reward-seeking. *Brain Res. Rev.* 31, 6-41.
- Insel, T.R., Young, L.J., 2001. The neurobiology of attachment. *Neurosci.* 2, 129-36. <https://doi.org/10.1038/35053579>.
- Johnsen, J.F., Zipp, K.A., Kälber, T., de Passillé, A.M., Knierim, U., Barth, K., Mejdell, C.M., 2016. Is rearing calves with the dam a feasible option for dairy farms? -Current and future research. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 181, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.11.011>
- Keller, M., Meurisse, M., Poindron, P., Nowak, R., Ferreira, G., Shayit, M., Levy, F., 2003. Maternal experience influences the establishment of visual/auditory, but not olfactory recognition of the newborn lamb by ewes at parturition. *Develop. Psychobiol.* 43, 167-176. <https://doi.org/10.1002/dev.10130>
- Kendrick, K.M., Hinton, M.R., Atkins, K., 1998. Mothers determine sexual preferences. *Nature* 395, 229-230.
- Keverne, E.B., Kendrick, K.M., 1992. Oxytocin facilitation of maternal behavior in sheep. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 652, 83-101.

- Knörnschild, M., Von Helversen, O., 2008. Nonmutual vocal mother–pup recognition in the greater sac-winged bat. *Anim. Behav.* 76, 1001-1009.
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2008.05.018>
- Kober, M., Trillmich, F., Naguib, M., 2008. Vocal mother-offspring communication in guinea pigs: females adjust maternal responsiveness to litter size. *Front. Zool.* 5, 13.
- Laland, K.N., 1994. On the evolutionary consequences of sexual imprinting. *Evol.* 48, 477-89.
- Langmore, N.E., 1998. Functions of duet and solo songs of female birds. *Trends Ecol. Evol.* 13, 136-140.
- Larsen, C.M., Grattan, D.R., 2012. Prolactin, neurogenesis, and maternal behaviors. *Brain Behav. Immun.* 26, 201-209.
- Lezama-García, K., Mariti, C., Mota-Rojas, D., Martínez-Burnes, J., Barrios-García, H., Gazzano, A., 2019. Maternal behaviour in domestic dogs. *Int. J. Vet. Sci. Med.* 7, 20-30.
<https://doi.org/10.1080/23144599.2019.1641899>.
- Liu, D., Diorio, J., Tannenbaum, B., Cladj, C., Francis, D., Freedman, A., Sharma, S., Pearson, D., Plotsky, P.M., Meaney, M.J., 1997. Maternal Care, Hippocampal Glucocorticoid Receptors, and Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Responses to Stress. *Sci.* 277, 1659-1662.
- Lorenz, K., Der Kumpan in der Umwelt des Vogels. Der Artgenosse als auslösendes Moment sozialer Verhaltensweisen. *Journal für Ornithologie* 83, 137–215, 289–413.

- Love, T.M., 2014. Oxytocin, motivation and the role of Dopamine. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 119, 49-60. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2013.06.011>.
- Madigan, S., Bakermans-Kranenburg, M.J., Van IJzendoorn, M.H., Moran, G., Pederson, D.R., Benoit, D., 2006. Unresolved states of mind, anomalous parental behavior, and disorganized attachment: A review and meta-analysis of a transmission gap. *Attach. Human Develop.* 8, 89-111.
- Maier, R., 2001. La evolución del aprendizaje. In *Comportamiento Animal. Un enfoque evolutivo y ecológico*. Madrid, España: Mc Graw Hill., 541 p.
- Mandujano-Camacho, H., 2010. Ecología y sociobiología de la impronta: perspectivas para su estudio en los Crocodylia. *Ciencia y Mar* 14, 49-54.
- Meurisse, M., Gonzalez, A., Delsol, G., Caba, M., Levy, F., Poindron, P., 2005. Estradiol receptor- α expression in hypothalamic and limbic regions of ewes is influenced by physiological state and maternal experience. *Hormon. Behav.* 48, 34-43.
- Mills, M., Melhuish, E., 1974. Recognition of mother's voice in early infancy. *Nature* 252, 123-124.
- Minton, J.E., Blecha, F., 1990. Effect of acute stressors on endocrinological and immunological functions in lambs. *J. Anim. Sci.* 68, 3145-3151.
- Minton, J.E., Coppinger, T.R., Reddy, P.G., Davis, W.C., Blecha, F., 1992. Repeated restraint and isolation stress alters adrenal and

lymphocyte functions and some leukocyte differentiation antigens in lambs. *J. Anim. Sci.* 70, 1126-1132.

Mora-Medina, P., Orihuela-Trujillo, A., Arch-Tirado, E., Terrazas, A., Mota-Rojas, D., 2016. Sensory factors involved in mother-young bonding in sheep: A review. *Veterinarni Medicina* 61, 595-611. <https://doi.org/10.17221/255/2014-VETMED>.

Mora-Medina, P., Orihuela-Trujillo, A., Arch-Tirado, E., Vázquez, C., Mota-Rojas, D., 2018a. Metabolic changes during brief periods of ewe-lamb separation at different ages. *Anim. Prod. Sci.* 58, 1297-1306. <https://doi.org/10.1071/ANv58n7toc>

Mora-Medina, P., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Berdugo-Gutiérrez, J., Ruiz-Buitrago, J., Guerrero-Legarreta, I., 2018b. Imprinting, Sucking and Allosucking Behaviors in Buffalo Calves. *J. Buffalo Sci.* 7, 49-57.

Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Napolitano, F., Mora-Medina, P., Alonso-Spilsbury, M., 2018. Olfaction in animal behaviour and welfare. *CAB Rev.* 13, 1-13. (UK). <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201813030>

Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., 2019a. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. *CAB Rev.* 14, 1-9. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>

Mota-Rojas, D., Martínez-Burnes, J., Napolitano, F., Domínguez-Muñoz, M., Guerrero-Legarreta, I., Mora-Medina, P., Ramírez-Necoechea, R., Lezama-García, K., González-Lozano, M.,

2019b. Dystocia: factors affecting parturition in domestic animals. CAB Rev. 15, 1-16.
<https://doi.org/10.1079/PAVSNNR202015013>

Murphey, R.M., Paranhos da Costa, M.J.R., de Souza Lima, L.O., de Moura Duarte, F.A., 1991. Communal suckling in water buffalo (*Bubalus bubalis*) Appl. Anim. Behav. Sci. 1991; 28, 341-352.

Murphey, R.M., Paranhos da Costa, M.J.R., Gomes da Silva, R., de Souza R., 1995. Allonursing in river buffalo, *Bubalus bubalis*: nepotism, incompetence, or thievery? Anim. Behav. 49, 161-166.

Nakazawa, K., Zsiros, V., Jiang, Z., Nakao, K., Kolata, S., Zhang, S., Belforte, J.E., 2011. GABAergic interneuron origin of schizophrenia pathophysiology. Neuropharm. 62, 1574–1583.
[doi:10.1016/j.neuropharm.2011.01.022](https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2011.01.022).

Nowak, R., Boivin, X., 2015. Filial attachment in sheep: Similarities and differences between ewe-lamb and human-lamb relationships. Appl. Anim. Behav. Sci. 164, 12–28.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.09.013>

Nowak, R., Keller, M., Lévy, F., 2011. Mother-young relationships in sheep: a model for a multidisciplinary approach of the study of attachment in mammals. J. Neuroendocrinol. 23, 1042-1053. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2826.2011.02205.x>

Nowak, R., Keller, M., Val-Laillet, D., Levy, F., 2007. Perinatal visceral events and brain mechanisms involved in the development of

- mother-young bonding in sheep. *Horm. Behav.* 52, 92–98.
<https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.03.021>
- Nowak, R., Porter, R.H., Levy, F., Orgeur, P., Schaal, B., 2000. Role of mother-young interactions in the survival of offspring in domestic mammals. *Rev. Reprod.* 5, 153–63.
<https://doi.org/10.1530/ror.0.0050153>
- Numan, M., Fleming, A.S., Lévy, F., 2006. Maternal Behavior. In: Neill JD, editor. *Knobil and Neill's Physiology of Reproduction*. 3rd ed. London: Elsevier. pp. 1921–1993.
- O'Connor, C.E., Lawrence, A.B., Wood-Gush, D.G.M., 1992. Influence of litter size and parity on maternal behaviour at parturition on Scottish Blackface sheep. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 33, 345–355.
- Olazábal, D.E., Pereira, M., Agrati, D., Ferreira, A., Fleming, A.S., González-Mariscal, G., Levy, F., Lucion, B.A., Morrell, I.J., Numan, M., Uriarte, N., 2013. New theoretical and experimental approaches on maternal motivation in mammals. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 37, 860–1874.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.04.004>
- Olazábal, F.A., Vera, A.H.R., Serafín, L.N., Medrano, H.J.A., Sánchez, S.H., Terrazas, G.A.M. 2013. Reconocimiento mutuo madre-cría en ovinos Columbia con restricción nutricional durante la gestación. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4, 127–147.
- Oliveira, A.F.M., Quirino, C.R., Bastos, R., 2017. Effect of nursing behaviour, sex of the calf, and parity order on milk production

of buffaloes. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 30, 30-38.

Orgeur, P., Mavric, N., Yvor, P., Bernard, S., Nowak, R., Schaal, B., Levy, F., 1998. Artificial weaning in sheep: consequences on behavioural, hormonal and immuno-pathological indicators of welfare. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 58, 87-103.

Orihuela, A., Mota-Rojas, D., Ungerfeld, r., Napolitano, F., Strappini, A., De Rosa, G., Braghieri, A., Mora-Medina, P., 2019. Capítulo 12. Mecanismos neurofisiológicos de la impronta en la búfala. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). *El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales* (380-425), Segunda edición. México, BM Editores.

Owens, J.L., Bindon, B.M, Edey, T.N., Piper, L.R., 1985. Behaviour at parturition and lamb survival of Booroola Merino sheep. *Livest. Product. Sci.* 13, 359-372.

Padilla de la Torre, M., Briefer, E., Ochocki, B., McElligott, A., Reader, A., 2016. Mother-offspring recognition via contact calls in cattle, *Bos Taurus*. *Anim. Behav.* 114, 147-154.

Paranhos da Costa, M.J.R., Andriolo, A., de Oliveira, J.F.S., Schmidek, W.R., 2000. Suckling and allosuckling in river buffalo calves and its relation with weight gain. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 66, 1–10. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(99\)00083-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00083-0)

Pedersen, C.A., Caldwell, J.D., Walker, C., Ayers, G., Mason, G.A., 1994. Oxytocin activates the postpartum onset of rat maternal

- behavior in the ventral tegmental and medial preoptic areas. *Behav. Neurosci.* 108, 1163-1171.
- Pickup, H., Dwyer, C., 2011. Breed differences in the expression of maternal care at parturition persist throughout the lactation period in sheep. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 132, 33-41. doi:10.1016/j.applanim.2011.03.010
- Poindron, P., 2005. Mechanisms of activation of maternal behaviour in mammals. *Reprod. Nutr. Dev.* 45, 341-51. <https://doi.org/10.1051/rnd:2005025>
- Poindron, P., Gilling, G., Hernandez, H., Serafin, N., Terrazas, A., 2003. Early recognition of newborn goat kids by their mother: I. Nonolfactory discrimination. *Dev. Psychobiol.* 43, 82-89. <https://doi.org/10.1002/dev.10123>
- Poindron, P., Otal, J., Ferreira, G., Keller, M., Guesdon, V., Nowak, R., Lévy, F., 2010. Amniotic fluid is important for the maintenance of maternal responsiveness and the establishment of maternal selectivity in sheep. *Animal* 4, 2057-2064. doi:10.1017/S1751731110001126
- Purohit, G.N., Barolia, Y., Shekhar, C., Kumar, P., 2011. Maternal dystocia in cows and buffaloes: a review. *Open J. Anim. Sci.* 1, 41. <https://doi.org/10.4236/ojas.2011.12006>
- Ramirez, M., Soto, R., Poindron, P., Alvarez, L., Valencia, J.J., Gonzalez, F., Terrazas, A. 2011. Maternal behaviour around birth and mother-young recognition in Pelibuey sheep. *Vet. Mex.* 42, 27-46.

- Rich, M.E., de Cárdenas, E.J., Lee, H.J., Caldwell, H.K., 2014. Impairments in the Initiation of Maternal Behavior in Oxytocin Receptor Knockout Mice. *PLoS ONE* 9:e98839. doi:10.1371/journal.pone.0098839.
- Rosillon-Warnier, A., Paquay, R., 1984. Development and consequences of teat-order in piglets. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 13, 47-58.
- Rubenstein, D.R., Alcock, J., 2019. *Animal Behaviour*. Ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 11th ed. Oxford University Press, New York, USA.
- Sanchez-Andrade, G., James, B.M., Kendrick, K.M., 2005. Neural encoding of olfactory recognition memory. *J. Reprod. Develop.* 51, 547-558. <https://doi.org/10.1262/jrd.17031>
- Santos, N.R., Beck, A., Fontbonne, A., 2020. A review of maternal behaviour in dogs and potential areas for further research. *J. Small Anim. Pract.* 61, 85-92. <https://doi.org/10.1111/jsap.13085>
- Scheiber, I.B., Weiß, B.M., Kingma, S.A., Komdeur, J., 2017. The importance of the altricial–precocial spectrum for social complexity in mammals and birds—a review. *Front. Zool.* 14, 3.
- Sèbe, F., Nowak, R., Poindron, P., Aubin, T., 2007. Establishment of vocal communication and discrimination between ewes and their lamb in the first two days after parturition. *Dev. Psychobiol.* 49, 375–386. <https://doi.org/10.1002/dev.20218>.

- Sèbe, F., Duboscq, J., Aubin, T., Ligout, S., Poindron, P., 2010. Early vocal recognition of mother by lambs: contribution of low- and high- frequency vocalizations. *Anim. Behav.* 79, 1055-1066. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2010.01.021>
- Shah, A., Oxley, G., Lovic, V., Fleming, A., 2002. Effects of preweaning exposure to novel maternal odors on maternal responsiveness and selectivity in adulthood. *Dev. Psychobiol.* 41, 187-196. <https://doi.org/10.1002/dev.10064>
- Singh, P.K., Kamboj, M.L., Chandra, S., Kumar, R., 2017. Effect of calf suckling dummy calf used and weaning on milk ejection stimuli and milk yield of Murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*). *J. Pharm. Phytochem.* SP1, 1012-1015.
- Sohlstrom, A., Carlsson, C., Uvnas-Moberg, K., 2000. Effects of oxytocin treatment in early life on body weight and corticosterone in adult offspring from ad libitum-fed and food-restricted rats. *Biol. Neonate* 78, 33–40. <https://doi.org/10.1159/000014244>
- Špinka, M., Illmann, G. 2015. Nursing behavior. C. Farmer (Ed.), In: *The gestating and lactating sow*, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherland, pp. 297-318.
- Špinka, M., Maletínská, J., Víchová, J., Stěhulová, I., 2002. Individual recognition of piglets by sows in the early post-partum period. *Behav.* 139, 975-991.
- Strathearn, L., 2011. Maternal neglect: oxytocin, dopamine and the neurobiology of attachment. *J. Neuroendocrinol.* 23, 1054–

1065. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2826.2011.02228.x>
PMID: 21951160.
- Torriani, M.V.G., Vannoni, E., McElligot, A.G., 2006. Mother-Young recognition in an Ungulate Hider Species: A unidirectional Process. *Amer. Naturalist* 168, 412-420.
- Tortora, G.J., Derrickson, B., 2013. Principios de anatomía y fisiología. Médica Panamericana. pp. 1145.
- Val-Laillet, D., Nowak, R., 2006. Socio-spatial criteria are important for the establishment of maternal preference in lambs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 96, 269-280.
- Vince, M.A., 1993. Newborn lambs and their dams: the interaction that leads to sucking. *Adv. Stud. Behav.* 22, 239–268.
- Von Keyserlingk, M.A., Weary, D.M., 2007. Maternal behavior in cattle. *Horm. Behav.* 52, 106-113.
<https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.03.015>.
- Wakerley, J.B., 1994. Milk ejection and its control. *Physiol. Reprod.* 1131-1177.
- Wierucka, K., Pitcher, B.J., Harcourt, R., Charrier, I., 2018. Multimodal mother–offspring recognition: the relative importance of sensory cues in a colonial mammal. *Anim. Behav.* 146, 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2018.10.019>
- Yadav, A.K., Pramanik, P.S., Kashyap, S.S., 2009. Dam-calf interactions in Murrah buffaloes upto six hours post-parturition. *Indian J. Anim. Prod. Management* 25, 78-80.

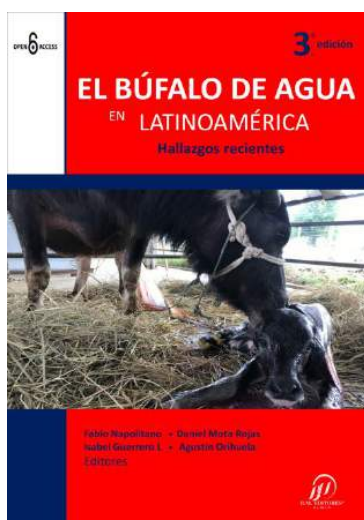
- Yamaguchi, S., Aoki, N., Kitajima, T., Iikubo, E., Katagiri, S., Matsushima, T., Homma, K.J. 2012. Thyroid hormone determines the start of the sensitive period of imprinting and primes later learning. *Nat. Commun.* 3, 1-13. <https://doi.org/10.1038/ncomms2088>.
- Zilkha, N., Sofer, Y., Beny, Y., Kimchi, T., 2016. From classic ethology to modern neuroethology: overcoming the three biases in social behavior research. *Curr. Opin. Neurobiol.* 38, 96-108. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2016.04.014>



CAPÍTULO 16

RUPTURA DEL VÍNCULO MADRE-CRÍA SIN DETRIMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y BIENESTAR
ANIMAL EN GANADO CEBÚ Y BÚFALO DE AGUA: CONSEJOS PRÁCTICOS Y NOVEDOSOS

Agustín Orihuela, Daniel Mota-Rojas y Fabio Napolitano



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3^a. Edición

CAPÍTULO 16

Ruptura del vínculo madre-cría sin detrimento de la productividad y bienestar animal en ganado cebú y búfalo de agua: consejos prácticos y novedosos

Agustín Orihuela¹, Daniel Mota-Rojas² y Fabio Napolitano³

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

²Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México.

³Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

INTRODUCCIÓN

El cebú (*Bos indicus*) y búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) con frecuencia se consideran similares con el ganado productor de carne o lechero (*Bos taurus*), y se transfiere tecnología desarrollada en estos últimos hacia las especies tropicales, sin ningún cambio o adaptación.

Las estrategias para el destete no son la excepción, y se aplican en los trópicos, pese a que la mayoría de estas técnicas son producto de estudios en ganado productor de carne y lechero, con razas europeas y generados en países con clima templado (Abeygunawardena y Dematawewa, 2004; Napolitano et al., 2013; Bertoni et al., 2019a,b; Orihuela et al., 2019a; Orihuela et al., 2020). Sin embargo, es necesario notar que, aunque los aspectos de fisiología básica pueden ser similares, permitiendo su clasificación como grandes rumiantes dentro



de la misma subfamilia (*Bovinae*), existen diferencias considerables, por lo que se les clasifica como especies diferentes, con genotipos desarrollados en respuesta a ambientes específicos, resultando en fenotipos y características fisiológicas distintas (Sartori et al., 2010).

Diferencias importantes entre las especies cuestionan si las estrategias generadas en una de ellas producen los mismos resultados cuando se aplican a la otra. Más aun, algunos de los resultados contrastantes que se encuentran en la literatura podrían explicarse con base en las diferencias entre especies (Orihuela et al., 2020). Una diferencia por considerar es por ejemplo la tasa de mortalidad alta del nacimiento al destete en los becerros cebú (Thumbi et al., 2013) y búfalos (Mora-Medina et al., 2018; Mota-Rojas et al., 2019) en comparación con el ganado productor de carne y leche europeos. Lo anterior representa un tema importante con efectos detrimentales en el bienestar animal y la economía de la granja, debido a la transferencia inapropiada de técnicas de destete generadas en ganado europeo y aplicadas a cebú y búfalos.

Hoy en día, la información relacionada con las técnicas de destete en cebú y búfalo es limitada en comparación con la existente para las razas de ganado de carne y leche, y muy pocos trabajos han validado o adaptado las técnicas desarrolladas en ganado europeo y transferidas a cebú o búfalo. Por lo tanto, sería de mucha utilidad el estudio de las técnicas de destete más apropiadas para poder desarrollar protocolos específicos o estrategias que incrementen el bienestar y la eficiencia productiva en ambientes tropicales particularmente.

DESTETANDO BÚFALOS

Técnicas comunes y procedimientos rutinarios de destete

La erupción tardía de los dientes y un consumo de leche reducido en los becerros del búfalo de agua indican que estos animales al nacimiento son menos maduros que los becerros del ganado europeo y, en consecuencia, más sensibles a factores adversos ambientales tales como patógenos y temperaturas extremas (Zicarelli, 2006).

Con base en su origen tropical y consecuente sensibilidad a bajas temperaturas, estos animales son también más susceptibles a enfermedades neonatales en comparación con otros rumiantes domésticos, particularmente cuando las vacas búfalo paren durante el invierno (Mingala y Gundran 2008). Además, debido a una falta de concordancia entre la estacionalidad reproductiva de los búfalos y la demanda por queso mozzarella, muchas granjas en Italia practican técnicas de reproducción fuera de la temporada reproductiva, lo que implica introducir toros en el hato durante el periodo de abril a septiembre (Di Francesco et al., 2011). En ambos casos los ranchos o fincas enfrentan periodos en los que se concentran las pariciones, y las becerreras se saturan, incrementando la transmisión de enfermedades, morbilidad y mortalidad en los becerros (Napolitano et al., 2020).

Las técnicas de destete más comunes en búfalos lecheros bajo operaciones intensivas en el Mediterráneo no difieren de aquellas que se utilizan en ganado lechero europeo. Estas incluyen la separación precoz de los becerros tan pronto nacen e ingieren calostro (Zicarelli et al., 2007).

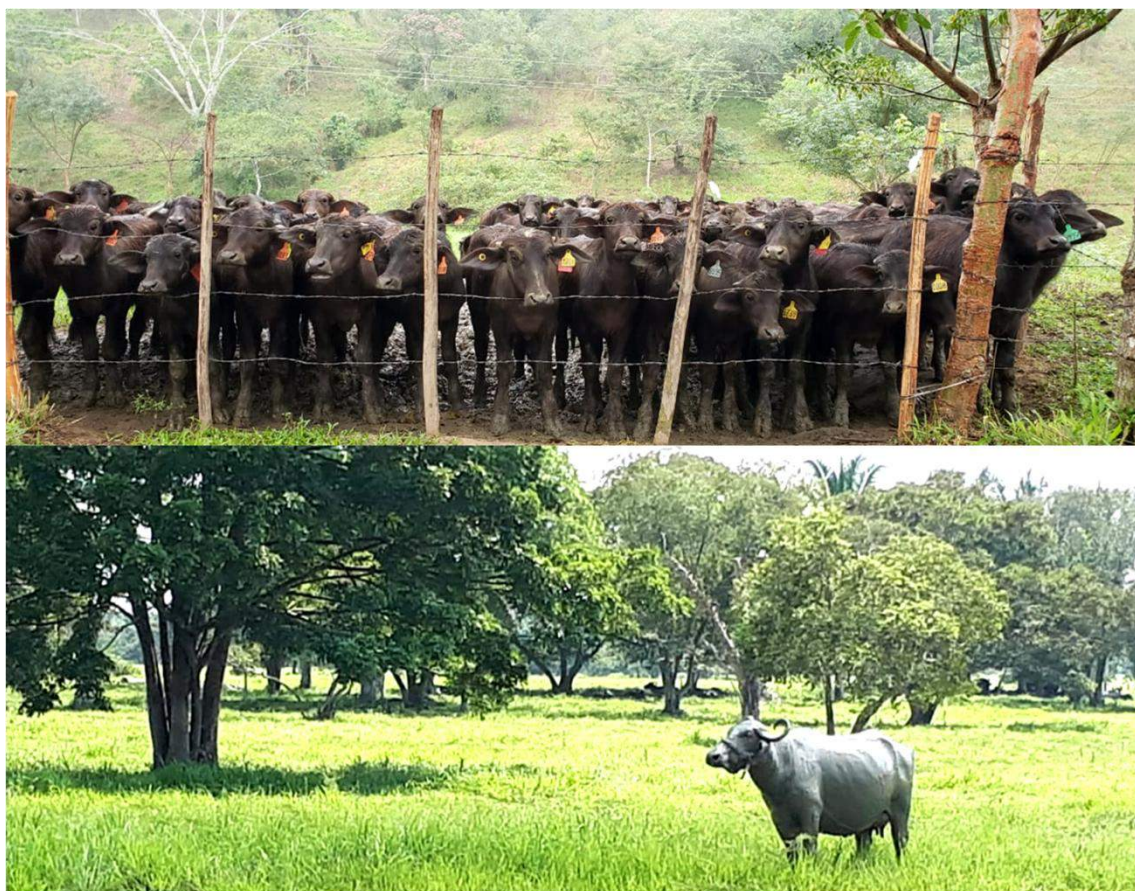


Figura 1. Amamantamiento restringido. En sistemas de producción de trópico, es común dejar toda la lactancia al becerro con la madre y como se aprecia en la imagen la madre es separada por unas horas de su becerro, los cuales son agrupados en un corral improvisado. Antes del ordeño se restringe a los becerros y después del ordeño, permiten que estos mamen de la madre. Por lo general no ordeñan un cuarto de la ubre para que la cría pueda obtener algo de leche.

El manejo del calostro afecta el estado de salud de los becerros, las ganancias de peso y los patrones de crecimiento, dado que los becerros son agammaglobulémicos al nacimiento y dependen de la IgG que les provea la madre a través del calostro, lo que ayudará a proteger a los recién nacidos contra los patógenos (Godden et al., 2019).

El calostro debe ofrecerse en cantidad suficiente, limpio y de alta calidad, y necesita estar accesible durante las primeras horas de vida. Proveer de 3 a 4 litros de calostro (para becerros Holstein), o una cantidad equivalente al 10-12% con respecto a su peso vivo parece ser suficiente para proteger al neonato. De manera más específica, cada becerro necesita ingerir un mínimo de 150-200 g de IgG después del nacimiento. Idealmente, 300 g de IgG ayudarán a proveer un excelente nivel de inmunidad pasiva (Godden et al., 2019).

Más tarde, los becerros deben recibir cantidades cada vez mayores de sustituto lácteo (24% proteína, 21% grasa), hasta llegar a 6-7 litros por día en dos sesiones de alimentación a las 4-5 semanas de edad (De Rosa et al., 2017).

El suministro de sustituto debe reducirse gradualmente e iniciar poco a poco el ofrecimiento de heno y concentrado, con el objetivo de destetar a los becerros alrededor de los 90 días de edad, con 80-90 kg de peso corporal, y con la capacidad de ganar al menos 800-900 g de peso por día (De Rosa et al., 2017). Los becerros para su protección deben alojarse en corraletas individuales durante ocho semanas, de acuerdo con lo establecido en la legislación europea, y posteriormente agrupados en corrales comunitarios bajo techo.



Figura 2. Sistemas de doble propósito en trópico latinoamericano. En algunos sistemas de producción de búfalos de doble propósito en Latinoamérica, se realiza amamantamiento restringido los primeros 2 ó 3 meses después del parto. Algunos productores dan más prioridad al desarrollo del becerro y para mantener mayor control de la leche que se ministra a la cría los primeros 2 ó 3 meses, las búfalas se someten a sistema de ordeño manual y posteriormente a ordeño mecánico. En estos sistemas se desteta cuando el becerro alcanza aproximadamente a 240 kg, entre los 240 y 270 días. A diferencia de los sistemas de producción de carne de búfalo, la leche no se fracciona ni se limita, toda se destina a las crías para alcanzar lo más pronto posible 270-300 kg. En las imágenes se aprecian arreo tranquilo de las crías a caballo y agrupamiento de becerros para restringir amamantamiento.

En una encuesta reciente abarcando 70 ranchos o fincas al sur de Italia se encontró que los becerros de búfalo se separan de sus madres a los tres días de edad, lo que significa que se les permite obtener el calostro directamente de sus madres. La cantidad máxima de sustituto de leche que se administra en esas granjas es de 4.8 litros (rango de 2 a 8 litros) por día, mientras que el ofrecimiento de heno y concentrado empieza alrededor de los 18 días de edad.

En promedio, los becerros se destetan a los 88 días de edad (rango entre 60 a 120) con 77 kg de peso corporal (rango de 50-115) (De Rosa et al., 2017). Estos rangos nos indican que en algunos casos los requerimientos previos al destete de los becerros no se cumplen, con el consecuente efecto negativo en su desarrollo, tal como se aprecia en los pesos menores a lo esperado. El bienestar de los becerros de búfalo también se demerita cuando el espacio destinado al destete es reducido. Pese a que, al reducir esta área, se disminuye la inversión económica, este ahorro resulta controversial desde la perspectiva del bienestar animal (Grasso et al., 1999).

Grasso et al. (1999) observaron que una disponibilidad de espacio de entre 1.0-2.6 m² por animal, no afecta el crecimiento de becerros previo al destete, pero sí genera cambios endocrinos y alteraciones a nivel inmunológico (i.e. concentraciones de cortisol, respuestas de anticuerpos). Además, estos mismos investigadores encuentran que al proveer a los becerros de una pradera, se incrementan las respuestas humorales e inmunes, un factor que podría potencialmente disminuir la tasa de mortalidad entre los animales jóvenes.

Bharti et al. (2015) encontraron que becerros búfalo Murrah separados de sus madres al nacimiento y alimentados con calostro obtenido de sus madres, tienen niveles de inmunoglobulina similares a los de becerros alimentados por sus propias madres, pero menores ganancias diarias de peso. Estos hallazgos indican la necesidad de asegurar la ingestión de calostro temprana tanto en becerros separados precozmente de sus madres como en aquellos criados por sus madres, con el fin de proveerles de una buena protección contra los patógenos que normalmente les afectan en la granja o finca. Sin embargo, el estrés, incluyendo el causado por la separación precoz, podría inhibir la respuesta humoral y de inmunidad celular ante antígenos nuevos. Lo anterior sugiere que debe proveerse a los becerros de altos niveles de higiene y espacio con la finalidad de reducir la mortalidad en estos animales altamente sensibles (Grasso et al., 1999).

Estudios preliminares realizados bajo condiciones controladas en una granja experimental en Egipto encontraron que las ganancias de peso de los becerros búfalo controles, destetados a 120 días de edad fueron similares a las observadas en becerros destetados a tan solo 45 días (Khary et al., 1967). Sin embargo, trabajos más recientes con búfalos egipcios de río en una granja comercial, muestran que los destetes a edades tempranas provocan menores tasas de crecimiento y desarrollo similar al de becerros afectados por problemas patológicos (i.e. diarrea), o sujetos a condiciones de alojamiento inapropiadas (Ali et al., 2015).

Beceros búfalo Nili-Ravi en Pakistán destetados a los 56 días muestran menores tasas de crecimiento en comparación con aquellos destetados a los 84 días de edad. Independientemente de la edad del destete, todos los becerros tienen bajas ganancias de peso diarias cuando se les ofrece sustituto de leche de acuerdo con el 10% vs. el 15% de su peso vivo (Abbas et al., 2017).

En contraste a los becerros de búfalo lechero en Asia, generalmente los cría su propia madre hasta la edad del destete, y bajo los sistemas de producción tradicionales, se les permite mamar de una o dos tetas antes o después de ordeñar a sus madres (Kantharaja et al., 2018).

En la literatura científica existen diversos estudios sobre el destete artificial y la mayoría encuentran tasas menores de crecimiento en becerros criados artificialmente (i.e. recibiendo sustituto de leche a razón del 10% de su peso vivo) en comparación con los criados por sus madres (i.e. Bharti et al., 2015; Kantharaja et al., 2018). Este desempeño menor en becerros criados de manera artificial concuerda con trabajos en Australia con búfalos de pantano mantenidos en condiciones extensivas. En este caso, los becerros huérfanos criados de manera artificial tienen tasas de mortalidad altas, que pueden llegar al 25% (Standing Committee on Agriculture 1995).

Estos trabajos sugieren ofrecer a los becerros un espacio de entre 1.5 y 2 m², además de un manejo frecuente para minimizar el estrés de las interacciones forzadas, acostumbrando así a los animales a la presencia de los humanos. Lemcke (2015), finalmente, concluye que los becerros criados por sus madres deben destetarse a los 120-150 kg

de peso, dependiendo de la disposición de alimento y la condición corporal de la madre.

Estrategias novedosas de destete

Un tema controversial en el sector de la producción lechera en el que tanto los consumidores como la población en general se está volviendo más sensible, es la separación temprana de los becerros de sus madres (Sirovnik et al., 2020). Como consecuencia, métodos novedosos se encuentran en desarrollo con el fin de alargar el periodo de contacto entre madre y cría en las lecherías de ganado europeo (Sirovnik et al., 2020). Sin embargo, no existen estudios similares todavía en ganado búfalo lechero, pese a que esos temas empiezan a jugar un papel fundamental en la orientación de la demanda por queso mozzarella, que es el principal producto de este sector (De Rosa et al., 2015). Como en el caso de otros rumiantes recién nacidos, los becerros búfalo que no llegan a ingerir suficiente calostro de buena calidad pronto después del parto, y que no absorben una adecuada cantidad de inmunoglobulina, están en un riesgo mayor de morbilidad y mortalidad a lo largo del periodo neonatal, pese al hecho de que el calostro del búfalo de río es de mejor calidad en términos de nutrientes en comparación con el calostro de las vacas lecheras europeas.

Al parto, el calostro del búfalo tiene mayor concentración de lactosa, sólidos totales, grasa, ceniza, vitamina E, fósforo, e IGF-1, aunque menor concentración de lactoferrina, Mg, vitamina A, K, Na y Zn, que

el de la vaca lechera (El-Fattah et al., 2012). Debido a la alta tasa de mortalidad entre los becerros búfalo -quizá atribuible, al menos en parte, a la insuficiente protección inmunológica- se propone el uso de alimentadores esofageales, asemejando prácticas que actualmente se realizan en ganado lechero europeo (Adams et al., 1985), pese a que este procedimiento se asocia con concentraciones menores de inmunoglobulinas en comparación con la alimentación con mamilas, especialmente durante consumos bajos de calostro (Godden et al., 2009). Este resultado puede atribuirse al hecho de que los alimentadores esofágicos introducen el calostro directamente al rumen en lugar del abomaso, lo que resulta en 2 a 4 h de demora antes de que este alcance el intestino (Lateur-Rowet y Breuink, 1983) cuando la permeabilidad de las paredes de las vellosidades intestinales puede ya verse reducida.

Otro aspecto negativo de este tipo de alimentación es que requiere de una mayor cantidad de trabajo, que podría reducirse alimentando a los becerros una vez al día en lugar de dos (Hopkins y Quigley, 1997). Al usar alimentadores esofágicos se lleva el riesgo de producir lesiones en el tracto oral-esofageal (epiglotis, laringe, faringe, entre otras), o de una posible inserción a través de la tráquea, lo que traería como consecuencia que la leche entrara a los pulmones.



Figura 3. Búfalas con sus crías en un sistema de doble propósito, después del ordeño se les permite el amamantamiento restringido a los becerros. Debido a la concentración de partos en ciertas épocas del año, y los costos elevados de los subproductos de leche, la cantidad de trabajo empleado en algunos ranchos o fincas de búfalos podría ser insuficiente para llevar a cabo el cuidado apropiado de los becerros jóvenes.

Por lo tanto, como en el ganado europeo (Gleeson et al., 2007), Vecchio et al., (2013) y, más recientemente, De Martino et al., (2018) proponen que el sustituto de leche se administre una vez en lugar de dos por día, como una sola administración pero con el doble de concentración (36% MS) lo que genera tasas de crecimiento y niveles de haptoglobina, lisozima y actividad bactericida similares a las observadas en becerros que se alimenta dos veces al día con una concentración normal (18% MS) hasta llegar al periodo de destete (90 días).

Recientemente, Serrapica et al. (2019) realizaron un experimento con el fin de estudiar si el desarrollo de los pre-estómagos podía estimularse con el objetivo de reducir la edad al destete de los becerros y así incrementar los beneficios económicos en la granja. A los becerros en este estudio se les ofreció a partir de los 15 días de edad; heno *ad libitum* de 20 cm más un iniciador comercial en pellets, heno picado (3-4 cm) más un iniciador comercial en pellets, o iniciador comercial en pellets exclusivamente. Estos investigadores encontraron que el tratamiento con heno picado incrementa las dimensiones del estómago y reduce conductas orales no nutritivas en comparación con los otros dos tratamientos. Sin embargo, estos becerros mostraron crecimiento reducido, posiblemente debido a que invirtieron menos tiempo consumiendo el iniciador. En este mismo estudio, las mayores ganancias de peso se observan en becerros que consumen exclusivamente iniciador, lo que sugiere que pese a que este último tratamiento alimenticio incrementa las tasas de crecimiento y podría reducir la edad al destete, a largo plazo, la ingestión alta de fibra probablemente estimula el desarrollo del pre-estómago -como se aprecia en los becerros alimentados con heno picado e iniciador- lo que podría favorecer el desarrollo de los animales una vez destetados. Un estudio previo encontró menores ganancias de peso en becerras búfalo, mantenidas en pastura ingiriendo una mayor proporción de fibra que el grupo control, que consistía en animales confinados consumiendo grandes cantidades de alimento concentrado. En este caso, no se encontraron diferencias entre los grupos, en términos de

edad a la pubertad (Sabia et al., 2014). Los autores interpretan estos resultados como una utilización más eficiente de los nutrientes por parte de los búfalos que ingieren más alimento fibroso.

DESTETANDO CEBÚ

Técnicas comunes y procedimientos rutinarios de destete

La edad promedio del destete natural en el ganado cebú es alrededor de los 10 meses de edad, con muy marcadas diferencias. La vaca cebú deja de alimentar a su cría luego de una edad promedio de 8.8 meses, pero los becerros machos continúan amamantándose por 2.5 meses más y se destetan a los 11.3 meses de edad en promedio (Reinghardt y Reinghardt 1981). Sin embargo, en el destete artificial, los becerros, independientemente del sexo, se separan de sus madres por lo general entre cinco y ocho meses de edad.

Destete abrupto

El destete abrupto es el tipo de separación más común y consiste en la separación de los becerros de sus madres trasladándoles a otra pastura terminando con toda comunicación entre ellos. Por lo general, se lleva a cabo cuando los becerros tienen entre cinco y ocho meses de edad, después del pico de lactancia y cuando los becerros ya iniciaron el consumo de alimento sólido. Generalmente, la separación abrupta de la vaca y el becerro genera reacciones de estrés tales como incremento en las vocalizaciones, actividad locomotriz, y respuesta de cortisol en sangre, pero la mayoría de los indicadores de estrés tanto

en vacas como becerros disminuyen luego de 48 horas de separación (Acevedo et al., 2005). Las vacas parecen verse menos afectadas por la separación de sus becerros, y son los becerros jóvenes los que muestran menos signos de estrés ante la separación en comparación con becerros de mayor edad (Pérez-Torres et al., 2016).

Destete temprano

En el ganado europeo productor de carne, el destete temprano se realiza cuando los becerros tienen tres meses de edad y con mayor frecuencia cuando tienen cinco meses. Sin embargo, existe información de becerros que se separan de sus madres con tan solo dos meses de edad (Monje et al., 1993). El destete temprano consiste en la separación artificial definitiva de vacas y becerros de corta edad, independientemente del método empleado para lograrla. Alternativamente a la separación abrupta, se pueden también utilizar algunas técnicas, comúnmente conocidas como destetes en dos pasos (i.e. separaciones en corrales contiguos, uso de tablillas nasales o destetes restringidos). Sin embargo, la información en ganado cebú es muy limitada (Orihuela et al., 2019b).

El destete temprano es un procedimiento efectivo en la mejora de la reproducción de las vacas cebuínas (Arthington y Kalmbacher 2003), al inducir un acortamiento del intervalo parto a primera ovulación, producto de la remoción de los requerimientos que demanda la lactación (Wyatt et al., 1977) y de la presencia del becerro (Randel 1981). Además, el destete temprano incrementa del peso corporal de

las vacas y mejora su condición corporal (Galindo-González et al., 2007).

El procedimiento parece especialmente útil bajo condiciones estacionales de producción de forraje precarias, como un procedimiento que favorece la utilización de fuentes de alimento limitadas (Arthington y Kalmbacher 2003).

Arthington y Minto (2004) estudiaron el efecto del destete temprano en la productividad de vacas cebuínas, primíparas, delgadas, encontrando una reducción substancial en la cantidad de nutrientes totales digestibles necesarios para mantener las ganancias de peso en vacas a las que se separa de su becerro a los 93 días postparto, aunado a la reducción del intervalo parto a primera ovulación. Estos autores concluyen que el destete temprano es una estrategia conveniente para recuperar vacas delgadas después del parto, y reducir los intervalos entre partos. En cambio, Carcedo et al. (2007) concluyen que el destete temprano no afecta la madurez reproductiva o desarrollo de novillas cebuínas en crecimiento, bajo condiciones de potrero cuando se empadran (*apareamiento de los animales utilizando monta directa o inseminación artificial*) a los dos años de edad.

Respecto a las crías, Monje et al. (1993) encontraron patrones de ganancias de peso similares en dos grupos de becerros de tipo cárnico europeo cuando se comparan becerros sometidos a destete temprano con dos meses de edad con aquellos bajo amamantamiento continuo.

Sin embargo, Coppo (2007) encontró que becerros destetados entre dos y tres meses de edad, con un mínimo de 70 kg al momento de la

separación, pesaban aproximadamente 20 kg menos que aquellos mantenidos bajo amamantamiento continuo. Este mismo autor hipotetiza que la diferencia de peso se debe al estrés de la separación que experimentan los becerros durante el destete temprano. Sin embargo, al profundizar en el tema, el autor concluye que, pese a que la separación temprana induce ciertas reacciones de estrés durante el proceso, el problema principal de la diferencia de peso era el estado de subnutrición, que podría reducirse mediante la oferta de alimentos de alta digestibilidad a los becerros recién destetados, particularmente a los más pequeños.

Estrategias novedosas de destete

No cabe duda de que el periodo de transición durante el destete es estresante tanto para los becerros como para las vacas, y las estrategias de manejo para mejorar el bienestar durante este periodo, deben investigarse.

En general, estas estrategias incluyen la disgregación entre el término del amamantamiento y la separación del becerro de su madre. Por ejemplo, manteniendo a los becerros separados de sus madres en potreros contiguos donde a través de la cerca puedan establecer contacto (olfativo, visual, auditivo, pero sin amamantamiento) previo a una separación definitiva (Price et al., 2003), o mediante el uso de tablillas nasales (Jaley, 2005) que permiten mantener el contacto social entre madre y cría, pero impiden el amamantamiento, antes de separarlos definitivamente.

Corrales contiguos

La evidencia en ganado europeo productor de carne sugiere que separar a vacas y becerros permitiéndoles contacto a través de la cerca que separa dos corrales contiguos durante un periodo anterior a la separación completa, es menos traumático que la separación súbita total. Este tipo de procedimientos parece promisorio para la disminución del estrés cuando se separan los animales en preparación para el destete.

Los resultados en ganado cebú que encuentran Pérez-Torres et al. (2017) utilizando la separación en corrales contiguos, apoya la hipótesis de que el contacto entre vacas y becerros a través de la cerca divisoria genera menos signos de estrés conductual en comparación con una separación abrupta, y minimiza las pérdidas de peso que por lo general se asocian con el destete.

Al aplicar este procedimiento en ganado *B. taurus* Price et al. (2003) encontraron que la mayoría de los becerros pastorean juntos lejos de la cerca divisoria y regresan a pararse o echarse cerca de ella, incrementando la distancia recorrida conforme los días transcurren. Esta sincronización en el pastoreo y conductas de descanso manifiestas durante tres días post separación, coinciden con la hipótesis de que los nexos sociales entre los becerros se fortalecen al destete y pueden funcionar como un amortiguador social y mitigar la separación de la madre.

Veissier y LeNeindre (1989) encontraron que becerros *B. taurus* destetados se reúnen y tienen más encuentros sociales entre ellos que

becerros de edad similar que permanecen con sus madres. Esta cohesión entre los becerros recientemente destetados podría ser un mecanismo para lidiar con la relación fracturada recientemente con sus madres.

Price et al. (2003), estudiando ganado Angus/Herford también encontraron diferencias en las ganancias de peso acumulado a las 10 semanas posteriores al destete entre los becerros que se separaron de sus madres utilizando potreros contiguos en comparación con aquellos que se separaron abruptamente a potreros no contiguos. Las diferencias fueron más marcadas durante las semanas inmediatas siguientes al destete, que en las subsecuentes. Dos semanas después de la separación, los becerros separados en potreros contiguos ganaban 95% más peso que el promedio de los becerros separados de manera abrupta en potreros no contiguos. A las diez semanas después del destete, los primeros todavía pesaban alrededor de 10 a 11 kg más que los becerros bajo el destete tradicional. Nicol (1977) y Stookey et al., (1997) también compararon el crecimiento y la conducta de becerros destetados. En ambos estudios, los becerros separados de sus madres en potreros contiguos inicialmente ganaron más peso que los separados de manera abrupta en potreros no contiguos, pero luego de dos o tres días no encontraron diferencias entre los becerros de ambos tratamientos.

En el ganado cebú, no se cuenta con información científica sobre el uso de este tipo de metodología. Sin embargo, información anecdótica sugiere que debe tenerse cuidado particularmente con vacas criadas

bajo condiciones extensivas con muy poco manejo y contacto con los humanos, ya que este tipo de animales puede ser muy sensible al llamado de sus crías, particularmente de menos de 120 días de edad (Pérez-Torres et al., 2014) y podrían destrozar o saltar la cerca divisoria de los corrales contiguos en un intento por reunirse.

De acuerdo con los resultados en ganado Angus, la separación en corrales contiguos podría ser una estrategia de manejo que no solo incrementa el nivel de bienestar animal, sino que también puede significar ventajas económicas para los productores, especialmente aquellos que venden los becerros en los días o semanas próximos al destete. Sin embargo, es necesario llevar a cabo investigación en ganado cebú utilizando este tipo de metodologías, porque existe la posibilidad de que los resultados sean diferentes a los esperados. Por ejemplo, Solano et al., (2007) estudiaron la respuesta conductual de becerros cebú ante un periodo corto de separación de sus madres y encontraron que la separación en potreros contiguos provoca severos cambios fisiológicos indicativos de estrés, mientras que evitando cualquier contacto sensorial entre la madre y la cría durante este periodo implican un tratamiento menos estresante en este tipo de ganado.

Tablillas nasales

El equipamiento de los becerros con dispositivos anti-amamantamiento que permiten que ingieran alimento sólido, pero no puedan mamar (Haley, 2005), favorece que los becerros se

acostumbren al consumo de alimento sólido sin el efecto concurrente de la separación de sus madres y exposición a condiciones nuevas de alojamiento (**Figura 4**).

En razas *B. taurus* el uso de tablillas nasales con objeto de realizar un destete por pasos disminuye el estrés al momento del destete definitivo. Pese a que no existe información en la literatura científica validando este método en becerros cebuinos, los resultados de los experimentos en razas europeas sugieren que el uso de tablillas nasales antes de la separación motiva fuertemente a los becerros a consumir alimento sólido, lo que puede llevarlos a obtener mejores ganancias de peso.

Pese a los trabajos previos en ganado *B. taurus* en que se demuestra que los procedimientos de destete en dos pasos como separación en potreros contiguos y uso de tablillas nasales disminuye el estrés asociado al destete en becerros de razas cárnicas (Price et al., 2003; Haley et al., 2005; Quintans et al., 2008). Ungerfeld et al., (2010) sugieren que en realidad no hay una disminución general si no una redistribución del estrés en dos periodos. Latham y Mason (2008) establecen que al evitar el amamantamiento de la madre aún presente, trae por consecuencia numerosos intentos fallidos que pueden generar mucha frustración en los becerros, y recomiendan cuidado al escoger este tipo de procedimientos.



Figura 4. El dispositivo (tablilla nasal) que se observa en la fotografía evita el amamantamiento del becerro, forzándole a ingerir alimento sólido, antes de forzarle a romper el vínculo social que tiene con su madre. Esta es una de las prácticas transferidas del ganado *Bos taurus* a *Bos indicus* y aunque poco estudiada en esta última especie, el procedimiento va dirigido a reducir el sufrimiento del becerro segregando los factores que generan estrés al momento del destete.

Además, la posible diferencia entre razas, y muchos otros factores como: la duración del periodo con la tablilla en la nariz (Haley et al., 2005), la producción de leche de la vaca (Hötzel et al., 2010), la edad de los becerros (Ungerfeld et al., 2009), y el clima (Pollard y Littlejohn, 2000), pueden afectar la respuesta al destete, y explicar los resultados contradictorios encontrados.

Una combinación del uso de las tablillas nasales seguida de la separación de vacas y becerros en potreros contiguos parece ser

óptima en ganado europeo (Haley, 2005). Sin embargo, no existen estudios en ganado cebuino, y los resultados contradictorios en otras especies, urgen la investigación en esta área.

Amamantamiento restringido

El amamantamiento restringido es una técnica donde existe un poco más de investigación en cebú, quizá por las ventajas reproductivas que ofrece como un procedimiento que acorta el intervalo entre partos, sin acortar la duración de la lactación.

En un estudio preliminar, Bastidas et al. (1984) utilizaron vacas Brahman y novillas primerizas bajo un régimen de dos amamantamientos diarios de 45 min c/u durante un periodo comprendido desde los 30 días postparto hasta el destete a los siete meses de edad, encontrando que la tasa promedio de gestación fue de $63.06 \pm 0.06\%$, afectada por el amamantamiento y el número de pariciones. La tasa de preñez fue 33% mayor en las vacas que amamantan dos veces al día. Cuarenta y cuatro por ciento de las novillas primerizas en el grupo de amamantamiento de dos veces por día quedaron preñadas en comparación con 9% del grupo control, sin afectar el desempeño de los becerros antes del destete.

De manera similar, en un estudio más reciente Pérez-Torres et al., (2017) encontraron que becerros a los que se somete a privación de la madre durante el periodo de amamantamiento manifiestan menos signos conductuales asociados con estrés, menores concentraciones de cortisol y mayores ganancias de peso durante los primeros días

siguientes al destete a 270 días de edad, con una tendencia a que los becerros separados por periodos mayores lograrán pesos mayores.

Pérez-Torres et al., (2017), sugieren que la recuperación rápida de las conductas asociadas con el estrés en los becerros tratados luego de la respuesta aguda inicial al momento de la separación definitiva, puede explicarse debido a una mayor independencia nutricional, manifiesta a través de una mayor disposición al pastoreo en comparación con el grupo control, particularmente en aquellos animales separados temporalmente de sus madres por 72 horas antes del destete definitivo, en comparación con los separados 24 horas.

En ganado cebú no existen estudios que hayan evaluado la suma del efecto del estrés causado por el amamantamiento restringido más el causado por la separación definitiva, en combinación o no con el uso de tablillas nasales o separación en potreros contiguos, por lo que se desconoce cómo estos eventos combinados afectarían las respuestas comportamentales y fisiológicas durante el destete y en su vida posterior. Sin embargo, en un estudio reciente, Pérez-Torres et al. (2021) compararon el efecto de la separación temporal temprana por 72 horas vs. amamantamiento restringido a un periodo de 30 min/día, y encontraron que el primero generó mayor estrés al momento del destete definitivo, el cual se realizó cuatro meses después de iniciados los tratamientos. Por lo además de las bondades del segundo tratamiento, se aprecia como el efecto de estas prácticas puede permanecer por varios meses.

El Cuadro 1 resume algunas de las estrategias de destete descritas anteriormente y su impacto en el bienestar y la producción animal.

Estrategia	Impacto en el bienestar y producción animal
Destete temprano	Bienestar animal pobre; bajas ganancias de peso; problemas de salud; útil cuando la leche se vende o producen quesos; acorta el intervalo parto-primer ovulación.
Destete abrupto	Provoca reacciones de estrés agudo por 48-72h; los becerros jóvenes se ven más afectados que los de mayor edad.
Corrales contiguos	Menores índices de estrés y mejores ganancias de peso que bajo separación abrupta; debe tenerse cuidado con animales con poco manejo que puede romper o saltar cercas para reunirse.
Tablillas nasales	No hay estudios en búfalo o cebú; los estudios en <i>Bos taurus</i> sugieren que su uso antes de la separación obliga a los becerros a consumir alimento sólido, lo que puede mejorar sus ganancias de peso y reducir el estrés al momento de la separación.
Tablillas nasales seguidas de separación en corrales contiguos	No hay estudios en búfalo o cebú.
Destete temporal	Reduce el intervalo entre partos sin acortar la lactancia: los periodos más utilizados son de 24, 48 y 72 h de separación. La separación temporal no parece disminuir el efecto de la separación definitiva.
Amamantamiento restringido	Reduce el intervalo entre partos sin acortar la lactancia; dos periodos diarios de amamantamiento de 45 min c/u favorecen la reproducción de las vacas sin aparentes serias repercusiones en las crías.

Cuadro 1. Resumen de las estrategias de destete y su impacto en el bienestar y producción animal

Consejos prácticos para la reducción del estrés de destete

En general se recomiendan las siguientes prácticas para reducir el estrés del destete: Alimente a los becerros con un suplemento

comercial iniciador mientras aún están con sus madres. Por ejemplo, si se les va a dar ensilaje a los becerros después del destete, puede ser ventajoso proporcionar este ensilaje a vacas y becerros un tiempo antes de realizar su separación. Incluso si los becerros se destetan en praderas con pastura de calidad, tener algo de su dieta antes y después del destete puede ayudarles con el cambio. Las poblaciones de micro-organismos en el rumen pueden requerir hasta 14 días para adaptarse completamente a una nueva dieta. Considere ofrecer a los becerros suplementos post-destete lentamente vía “creep-feeding” dos semanas antes del destete.

Desparasitar los becerros antes del destete puede producir becerros más sanos y pesados al destete (Hersom et al., 2011).

Evite combinar procedimientos dolorosos o estresantes como la castración el marcaje y el transporte con el destete. El destete ya de por sí es un procedimiento estresante, y someter a los becerros a más estrés afecta notablemente su nivel de bienestar.

En lo posible, mantenga a los becerros destetados en un grupo, en ambientes familiares y que tengan la edad suficiente para habituarse a comer comida sólida.

Destete a los becerros a la mayor edad posible. Los becerros de mayor edad manifiestan menos signos de estrés que los animales más jóvenes (Pérez-Torres et al., 2016).

Brindar a los becerros acceso a sistemas silvo-pastoriles al momento del destete tiene efectos benéficos en su peso, y su suplementación ofrece aun beneficios adicionales (Mahecha et al., 2004).

CONSIDERACIONES FINALES

La mayoría de los procedimientos de destete aplicados en cebú y búfalos se desarrollaron en razas de *B. taurus*, y muy pocos tienen una validación en los trópicos. El conocimiento de los procedimientos específicos de destete puede contribuir a mejorar el bienestar de los becerros y sus madres, así como incrementar la eficiencia reproductiva de estas últimas. Sin embargo, todavía existe muy poca información disponible acerca de tales procedimientos. Por ahora, pese a la existencia de algunos resultados, aún existen muchas preguntas sin respuesta, dejando el campo abierto para el desarrollo de investigación.

REFERENCIAS

- Abbas, W., Bhatti, S.A., Khan, M.S., Saeed, N., Warriach, H.M., Wynn, P., McGill, D., 2017. Effect of weaning age and milk feeding volume on growth performance of Nili-Ravi buffalo calves. *Ital. J Anim Sci.* 16, 490-499.
<https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1291282>
- Abeygunawardena, H., Dematawewa, C.M.B., 2004. Pre-pubertal and postpartum anestrus in tropical zebu cattle. *Anim. Reprod. Sci.* 82-83, 373-387.
<http://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.05.006>
- Acevedo, N., Hernández, C., Orihuela, A., Lidfors, L.M., Berg, C., 2005. Effect of restricted suckling or temporal weaning on some

- physiological and behavioural stress parameters in zebu cattle (*Bos indicus*). Asian Austral. J Anim. 18, 1176-1181.
<http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2005.1176>
- Adams, G.D., Bush, L.J., Horner, J.L., Staley, T.E., 1985. Two methods for administering colostrum to newborn calves. J. Dairy. Sci. 68, 773-775. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80887-0](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80887-0)
- Ali, M.A., El-khodery., S.A, El-Said, W.E., 2015. Potential risk factors associated with ill-thrift in buffalo calves (*Bubalus bubalis*) raised at smallholder farms in Egypt. J. Adv. Res. 6, 601–607.
<https://doi.org/10.1016/j.jare.2014.02.005>
- Arthington, J.D., Kalmbacher, R.S., 2003. Effect of early weaning on the performance of three-year-old, first-calf beef heifers and calves reared in the subtropics. J. Anim Sci. 81, 1136-1141.
<http://dx.doi.org/10.2527/2003.8151136x>
- Arthington, J.D., Minton, J.E., 2004. The effect of early calf weaning on feed intake, growth, and postpartum interval in thin, Brahman-crossbred primiparous cows. Appl. Anim. Sci. 20, 34-38.
[https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31269-9](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31269-9)
- Bastidas, P., Troconiz, J., Velarde, O., Silva, O., 1984. Effect of restricted suckling on pregnancy rates and calf performance in Brahman cows. Theriogenology. 21, 289-294.
[https://doi.org/10.1016/0093-691X\(84\)90414-X](https://doi.org/10.1016/0093-691X(84)90414-X)
- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Sabia, E., Alvarez-Macias, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela. D.A., Berdugo, J.,

- Guerrero-Legarreta, I., 2019a. Similarities and differences between river buffaloes and cattle: anatomical, physiological and productivity aspects. *J. Buffalo Sci.* 9, 92-102. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2019.08.03.12>
- Bertoni, M.A., Álvarez, M.A.G., Mota-Rojas, D., 2019b. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 38, 59-80.
- Bharti, P.K., Dutt, T., Patel, M., Pandey, H.O., 2015. Success rate, growth performance and feed efficiency of buffalo calves reared at different feeding programs under semi-intensive systems of rearing. *Indian J Anim. Sci.* 85, 320–323.
- Carcedo-Orallo, J.A., Alonso-Toniolo, A., Menajovsky-Barbiero, J.R., Álvarez-Verzeroli, C.F., 2007. Effect of early weaned calves on the reproductive performance in heifers mating at two years old. *Arch. Lationoam. Prod. Anim.* 16, 13-17. ISSN 1022-1301. 2008
- Coppo, J.A., 2007. Multivariate analysis about causes of growth delay in early weaned calves. *Rev Vet.* 18, 37-45. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/view/1922/1673>
- De Martino, L., Sibillo, F., Faggiano, A., Musco, N., Tudisco, R., 2018. Influence of the number of milk replacer administrations on the in vivo performance of bovine and buffalo calves. *J Nutr. Ecol.* 5, 9-19. <http://doi.org/10.1166/jnef.2018.1168>

- De Rosa, G., Grasso, F., Pisani, M., Salese, M., Serrapica, M., Napolitano, F., 2017. Cross-sucking and inter-suckling in dairy buffaloes. Proceedings of the 7th International Workshop on Assessment of Animal Welfare at Farm and Group Level. 5-8 September, Ede, The Netherlands, 247. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-862-9>
- De Rosa, G., Grasso, F., Winckler, C., Bilancione, A., Pacelli, C., Masucci, F., Napolitano, F., 2015. Application of the Welfare Quality® protocol to dairy buffalo farms: prevalence and reliability of selected measures. J. Dairy. Sci. 98, 6886–6896. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9350>
- Díaz-Gutiérrez C, WingChing-Jones R, Rosales-Rodríguez R., 2009 Factibilidad del establecimiento de un sistema de producción de engorde de búfalos en pastoreo. Agron Costarric. 33, 183-191. ISSN:0377-9424 / 2009
- Di Francesco, S., Boccia, L., Campanile, G., Di Palo, R., Vecchio, D., Neglia, G., Zicarelli, L., Gasparri, B., 2011. The effect of season on oocyte quality and developmental competence in Italian Mediterranean buffaloes (*Bubalus bubalis*). Anim. Reprod. Sci. 123, 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.11.009>
- El-Fattah, A.A, Abd Rabo, F.H.R., El-Dieb, S.M., El-Kashef, H.A., 2012. Changes in Composition of Colostrum of Egyptian Buffaloes and Holstein Cows. BMC Vet Res. 5, 8-19. <http://www.biomedcentral.com/1746-6148/8/19>

- Galindo-Gonzalez, S., Arthington, J.D., Yelich, J.V., Hansen, G.R., Lamb, G.C, De Vries, A., 2007. Effects of cow parity on voluntary hay intake and performance responses to early weaning of beef calves. *Livest. Sci.* 110, 148-153. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.10.014>
- Galli, I.O., Monje, A.R., Hofer, C.C., 1995. Destete precoz: clave para nuevos sistemas de producción de carne vacuna en la Provincia de Corrientes, VIII Jorn. Vet. Ctes. (Premio Fundación Schiffo), Corrientes. Public. INTA Concep. del Uruguay, p. 33.
- Gleeson, D., O'Brien, B., Fallon, R.J., 2007. Feeding of cold whole milk once daily to calves in a group and its effect on calf performance, health, and labor input. *Int. J. Appl. Res. Vet. Med.* 5, 97-104.
- Godden, S.M., Haines, D.M., Konkol, K., Peterson, J., 2009. Improving passive transfer of immunoglobulins in calves. II: Interaction between feeding method and volume of colostrum fed. *J. Dairy. Sci.* 92, 1758–1764. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1847>
- Godden, S.M., Lombard, J.E., Woolums, A.R., 2019. Colostrum Management for Dairy Calves. *Vet. Clin. North Am. Food. Anim Pract.* 35, 535–556. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.07.005>
- Grasso, F., Napolitano, F., De Rosa, G., Quarantelli, T., Serpe, L., Bordi, A., 1999. Effect of pen size on behavioral, endocrine and immune responses of water buffalo (*Bubalus bubalis*) calves. *J.*

- Anim Sci. 77, 2039-2046.
<https://doi.org/10.2527/1999.7782039x>
- Haley, D.B., Bailey, D.W., Stookey, J.M., 2005. The effects of weaning beef calves in two stages on their behavior and growth rate. J. Anim Sci. 83, 2205–2214.
<https://doi.org/10.2527/2005.8392205x>
- Hersom, M.J., Myer, R.O., Carter, J.N., 2011. Influence on weaning weights of nursing beef cattle calves de-wormed 90 days prior to weaning. Livest. Sci. 136, 270-272.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.07.024>
- Hopkins, B.A., Quigley, J.D., 1997. Effects of method of colostrum feeding and colostrum supplementation on concentrations of immunoglobulin G in the serum of neonatal calves. J Dairy Sci. 80, 979–983. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76023-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76023-5)
- Hötzel, M.J., Ungerfeld, R., Quintans, G., 2010. Behavioral responses of 6-month-old beef calves prevented from suckling: influence of dam's milk yield. Anim. Prod. Sci. 50, 909-915.
<https://doi.org/10.1071/AN09136>
- Kantharaja, K.J., Tomar, A.K.S., Nataraju, O.R., Naveen Kumar, B.T., 2018. Early growth performance comparison of weaned and suckling Murrah buffalo calves under institutional situations. Int. J. Curr. Microb. Appl. Sci. 7, 723-733.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.087>

- Khoury, F.K., Ahmed, I.A., el-Shazly, K., 1967. Early Weaning in Cow and Water Buffalo Calves. I. Growth Rates, Efficiency of Feed Utilization, and Cost of Unit Gain. *J. Dairy. Sci.* 50, 1661-1666. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(67\)87689-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(67)87689-6)
- Lateur-Rowet, H.J.M., Breuink, H.J., 1983. The failure of the oesophageal groove reflex, when fluids are given with an oesophageal feeder to newborn and young calves. *Vet. Quart.* 5, 68-74. <https://doi.org/10.1080/01652176.1983.9693874>
- Latham, N.R., Mason, G.J., 2008. Maternal deprivation and the development of stereotypic behavior. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 110, 84–108. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.03.026>
- Lemcke, B., 2015. Weaning water buffalo calves - Recommended Practice for all Buffalo Producers. *Agnote*, J89, 1-4.
- Mahecha, L., Giraldo, D., Arroyave, J.F., Restrepo, L.F., 2004. Silvopastoral systems as an alternative for early weaning of Zebu calves. *Livestock Research for Rural Development* 16, 5. <http://www.lrrd.org/lrrd16/5/mahe16030.htm>
- Mingala, C.N., Gundran, R.S., 2008. Assessment of water buffalo health and productivity in a communal management system in the Philippines. *Trop. Anim. Health. Prod.* 40, 61–68. <https://doi.org/10.1007/s11250-007-9054-9>
- Monje, A.R., Hofer, C.C., Galli, I.O., 1993. Destete precoz: efecto sobre los vientres, manejo de los terneros e impacto de la técnica sobre los sistemas de producción. *Memorias Jornada de*

- difusión técnica destete precoz en cría vacuna. Ed. INTA EEA C del Uruguay, pp. 13-38. (In Spanish)
- Mora-Medina, P., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Berdugo-Gutiérrez, J., Ruiz-Buitrago, J., Guerrero-Legarreta, I., 2018. Imprinting, sucking and allosucking behaviors in Buffalo calves. *J. Buffalo Sci.* 7, 49-57.
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghier, A., Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., 2019. Invited review: Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. *CAB Reviews* 14, 1-12. (UK). <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>
- Napolitano, F., Pacelli, C., Grasso, F., Braghieri, A., De Rosa, G., 2013. The behaviour and welfare of buffaloes (*Bubalus bubalis*) in modern dairy enterprises. *Animal* 7, 1704-13. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001109>
- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Braghieri, A., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Cruz-Monterrosa, R., De Rosa, G., 2020. Factores Productivos y su incidencia en el bienestar de la búfala lechera en sistemas de producción extensivos e intensivos. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 20, (40), 155-173.
- Nicol, A., 1977. Beef cattle weaning methods. *New Zeal J Agr* 134, 17-18.
- Orihuela, A., Mota-Rojas, D., Napolitano, F., 2019a. Capítulo 13. Estrategias de destete para incrementar la productividad y el bienestar animal en búfalo de agua y ganado cebú” en Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). *El búfalo de agua en las*

- Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 426-460), Segunda edición. México, BM Editores.
- Orihuela, A., Galina, C.S., 2019b. Effects of separation of cows and calves on reproductive performance and animal welfare in tropical beef cattle. *Animals*, 9, 223-236.
- Orihuela, A., Mota-Rojas, D., Napolitano, F., 2020. Weaning strategies to improve productivity and animal welfare in zebu (*Bos indicus*) and water buffaloes (*Bubalus bubalis*). *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 8, 257-265.
- Pérez-Torres, L., Orihuela, A., Corro, M., Rubio, I., Alonso, M.A., Galina, C.S., 2016. Effects of separation time on behavioral and physiological characteristics of Brahman cows and their calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 179, 17-22. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.03.010>
- Pérez-Torres, L.I., Orihuela, A., Corro, M., Rubio, I., Cohen, A., Galina, C.S., 2014. Maternal protective behavior of zebu type cattle (*Bos indicus*) and its association with temperament. *J. Anim. Sci.* 92, 4694-4700. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7394>
- Pérez-Torres, L.I., Orihuela, A., Galina, C.S., Rubio, I., Corro, M., Cohen, A., Hernández, A., 2017. Effect of different periods of maternal deprivation on behavioral and cortisol responses at weaning and subsequent growth rate in zebu (*Bos indicus*) type cattle. *Livest. Sci.* 197, 17-21. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.12.006>

- Pérez-Torres, L.I., Ortiz, P., Martínez, J.F., Orihuela, A., Rubio, I., Corro, M., Galina, C.S., Ungerfeld, R., 2021. Short and long-term effects of temporary early cow-calf separation or restricted suckling on wellbeing and performance in zebu cattle. *Animal* 15, 100132. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100132>.
- Pollard, J.C., Littlejohn, R.P., 2000. Effects of management at weaning on behavior and weight gain of farmed red deer calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 67,151–157. [https://doi.org/10.1016/s0168-1591\(99\)00116-1](https://doi.org/10.1016/s0168-1591(99)00116-1)
- Price, E.O., Harris, J.E., Borgward, R.E., Sween, M.L., Connor, J.M., 2003. Fence-line contact of beef calves with their dams at weaning reduces the negative effects of separation on behavior and growth rate. *J. Anim. Sci.* 81, 116-121. <https://doi.org/10.2527/2003.811116x>
- Quintans, G., Banchero, G., Ungerfeld, R., 2008. Reducción del estrés del destete en terneros de razas carniceras: efecto del pretratamiento con tablilla nasal o alambrado por medio sobre el destete definitivo. First Congress of Latin America Region of the International Society for Applied Ethology, Montevideo, p. 44 (abstr.).
- Randel, R.D., 1981. Effect of once daily suckling on postpartum interval and cow-calf performance of first calf Brahman x Hereford heifers. *J Anim Sci.* 53, 755-757. <https://doi.org/10.2527/jas1981.533755x>

- Reinhardt, V., Reinhardt, A., 1981. Natural sucking performance and age of weaning in zebu cattle (*Bos indicus*). *J Agr Sci-Cambridge*. 96, 309-313. <https://doi.org/10.1017/S0021859600066089>
- Renner, J.E., 1991. Los Terneros. Hemisferio Sur, Buenos Aires, p. 66.
- Sabia, E., Napolitano, F., De Rosa, G., Terzano, G.M., Barile, V.L., Braghieri, A., Pacelli, C. 2014. Efficiency to reach age of puberty and behaviour of buffalo heifers (*Bubalus bubalis*) kept on pasture or in confinement. *Animal*. 8, 1907-1916. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001876>
- Sartori, R., Bastos, M.R., Baruselli, P.S., Gimenes, L.U., Ereno, R.L., Barros, C.M., 2010. Physiological differences and implications to reproductive management of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle in a tropical environment. *Soc. Reprod. Fertil. Suppl.* 67, 357-375. <https://doi.org/10.7313/upo9781907284991.028>.
- Serrapica, M., Braghieri, A., Napolitano, F., D'Angelo, G., Serrapica, F., Pacelli, C.D., 2019. Effect of fibre length and amount of growth and behavior of buffalo calves. *Ital. J. Anim. Sci.* 18(Suppl. 1),161-162.
- Sirovnik, J., Barth, K., de Oliveira, D., Ferneborg, S., Haskell, M., Hillmann, E., Jensen, M.B., Mejdell, C.M., Napolitano, F., Vaarst, M., Verwer, C.M., Waiblinger, S., Zipp, K.A., Johnsen, J.F., 2020. Cow-calf contact I: Terminology and definitions – a position paper. *J Dairy Res.* in press.

- Solano, J., Orihuela, A., Galina, C.S., Aguirre, V., 2007. A note on behavioral responses to brief cow-calf separation and reunion in cattle (*Bos indicus*). *J Vet Behav.* 2, 10-14. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2006.12.002>
- Standing Committee on Agriculture (1995) Model Code of Practice for the Welfare of Animals – Farmed Buffalo. SCARM Report 52, CSIRO Publishing, Collingwood Victoria, Australia.
- Stookey, J., 1997. Effects of remote and contact weaning on behavior and weight gain of beef calves. *J. Anim. Sci.* 75 (Suppl. 1), 157 (Abstr.).
- Thumbi, S.M., Bronsvoort, M.B., Kiara, H., Toye, P.G., Poole, J., Conradie, L.I., Jennings, A., Handel, I.G., Coetzer, J.A.W., Steyl, J., Hanotte, O., Woolhouse, E.J., 2013. Mortality in East African shorthorn zebu cattle under one year: predictors of infectious-disease mortality. *BMC Vet. Res.* 9, 175. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-9-175>
- Ungerfeld, R., Quintans, G., Enríquez, D.H., Hötzel, M.J., 2009. Behavioural changes at weaning in 6-month-old beef calves reared by cows of high or low milk yield. *Anim. Prod. Sci.* 49, 637–642. <https://doi.org/10.1071/AN09037>
- Ungerfeld, R., Quintans, G., Guidoni, A.L., Hötzel, M.J., 2010. Alternative weaning methods on behavior in beef calves. *Livest. Sci.* 128, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.10.007>

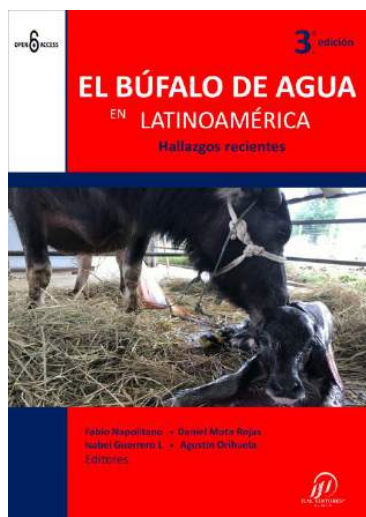
- Vecchio, D., Di Palo, R., De Carlo, E., Esposito, L., Presicce, G.A., Martucciello, A., Chiosi, E., Rossi, P., Neglia, G., Campanile, G., 2013. Effects of milk feeding, frequency and concentration on weaning and buffalo (*Bubalus bubalis*) calf growth, health and behavior. Trop. Anim. Health. Prod. 45, 1697-702. [https://doi.org/ 10.1007/s11250-013-0417-0](https://doi.org/10.1007/s11250-013-0417-0)
- Veissier, I., LeNeindre, P., 1989. Weaning in calves: Its effects on social organization. Appl. Anim. Behav. Sci. 24, 43-54. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(89\)90124-X](https://doi.org/10.1016/0168-1591(89)90124-X)
- Wyatt, R.D., Gould, M.B., Gould, M.B., Totusek, R., 1977. Effect of single vs. twin rearing on cow and calf performance. J. Anim. Sci. 45:1409-1414. <https://doi.org/10.2527/jas1977.4561409x>
- Zicarelli, F., Grassi, C., Gazaneo, M.P., Masiello, I., Vecchio, D., Campanile, G., 2007. Starter protein concentration and weaning of buffalo calf. Ital. J. Anim. Sci. 6 (Suppl. 1), 515–517. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.1s.515>
- Zicarelli, L., 2006. Buffalo calf weaning and production. In: Proceedings of the 3rd Simposio de Búfalos de las Américas – 2nd Simposio de Búfalos Europa-América, Medellín, Colombia, 2006, 80–8.



CAPÍTULO 17

VENTANAS TÉRMICAS EN EL BÚFALO DE AGUA: ASPECTOS PRÁCTICOS PARA LA VALORACIÓN REPRODUCTIVA

Aldo Bertoni, Daniel Mota-Rojas, Fabio Napolitano, Gustavo Crudeli, Francesco Serrapica, Jesús Alfredo Berdúgo, Corrado Pacelli, Adolfo Álvarez-Macías, Armando Morales-Canela, Jocelyn Gómez-Prado, Nancy José-Pérez, Fabiola Torres-Bernal y Agustín Orihuela



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 17

Ventanas térmicas en el búfalo de agua: aspectos prácticos para la valoración reproductiva

Aldo Bertoni¹, Daniel Mota-Rojas¹, Fabio Napolitano², Gustavo Crudeli³, Francesco Serrapica⁴, Jesús Alfredo Berdúgo⁵, Corrado Pacelli², Adolfo Álvarez-Macías¹, Armando Morales-Canela⁶, Jocelyn Gómez-Prado¹, Fabiola Torres-Bernal¹, Nancy José-Pérez¹ y Agustín Orihuela⁷

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México.

²Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

³Facultad de Ciencias Veterinarias (FCV) de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Argentina.

⁴Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici, Naples, Italia.

⁵Centro Latinoamericano para el Estudio del Búfalo de Agua (CLABU). Colombia.

⁶Ciencias Agrícolas de la Universidad EARTH. Costa Rica.

⁷Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

INTRODUCCIÓN

Existen eventos fisiológicos y factores ambientales que pueden alterar la vascularización de los tejidos y del flujo sanguíneo de los búfalos de agua, lo cual se puede expresar en la temperatura superficial de la piel, dada su función como sistema de enfriamiento que irradia el calor (Purohit et al., 1985; Cravello y Ferri, 2008; de Ruediger et al., 2018; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; Mota-Rojas et al., 2020a,b).

Se han utilizado diferentes métodos para medir los cambios de temperatura que presentan diferentes especies en circunstancias variadas, pero la mayoría de ellos se caracterizan por ser invasivos. Por ello, algunos de estos cambios podrían estar influenciados por el estrés generado en los animales



tras su manipulación (Clapper et al., 1990; Fisher et al., 2008; Kyle et al., 1998; Mosher et al., 1990; Redden et al., 1993; Sevegnani et al., 2016).

En respuesta a lo anterior, recientemente se está recurrido a la termografía infrarroja (IRT), una tecnología no invasiva que permite la medición precisa de la temperatura superficial de alguna región de los animales a más de 30 centímetros y hasta 5 m de distancia, facilitando así la identificación de alteraciones térmicas caracterizadas por una variación de la temperatura en la superficie cutánea) (Chacur et al., 2016; Sevegnani et al., 2016; Menegassi et al., 2018; Bertoni et al., 2020; Casas-Alvarado et al., 2020; Mota-Rojas et al., 2020a,b).



Figura 1. Uso de termografía infrarroja en el trópico húmedo. El uso de esta herramienta es trascendental ya que no implica interacción directa con los animales. La termografía infrarroja en especies emergentes auxilia en el conocimiento y comprensión de particularidades fisiológicas con la finalidad de generar estrategias que contribuyan al manejo correcto del hato y favorezca niveles adecuados tanto de productividad como de bienestar animal.

La termografía infrarroja ha abierto nuevas perspectivas sobre la fisiología comparativa de eventos como la termogénesis, el flujo sanguíneo periférico, la fisiología respiratoria y mecanismos para reducir la temperatura corporal (Tattersall y Cadena, 2010; Tattersall, 2016). En medicina veterinaria, esta herramienta ha sido utilizada para monitorear y estimar los cambios de temperatura de animales por efecto del ambiente, para evaluar sus respuestas fisiológicas a altas temperaturas (Knizkova et al., 2007; Paim et al., 2013; Mota-REojas et al., 2020a,b), así como también para evaluar los cambios de temperatura cutánea, en la evaluación de mastitis en vacas lecheras (Colak et al., 2008), cambios en el sistema locomotor de caballos y rumiantes (Alsaad and Büscher, 2012; Stewart et al., 2010) y para valorar el efecto de la castración en cerdos (Pérez-Pedraza et al., 2018), entre los más destacados.

Sin embargo, es reciente su uso en el estudio de los procesos fisiológicos, reproductivos y de la salud, expresados por búfalos de agua (*Bubalus bubalis*), una especie que ha sido adoptada en sistemas de producción en regiones tropicales dada su resistencia a enfermedades infecciosas y parasitarias (Angulo et al., 2005; Barboza, 2011) y a su eficiente desempeño productivo (Mota-Rojas et al., 2019a). Por tal motivo, en el presente artículo de revisión se analizan y discuten los hallazgos científicos más relevantes en el estudio de la microcirculación vascular en el búfalo de agua con el apoyo de esta herramienta, así como las ventanas térmicas empleadas en la especie, con el propósito de definir los alcances y las áreas de oportunidad del empleo de la termografía infrarroja para la evaluación de procesos

fisiológicos y su aplicación en eventos reproductivos, en la detección del estro y en la salud de la ubre.

VENTANAS TÉRMICAS EN EL BÚFALO DE AGUA

Los animales endotermos regulan la temperatura de su cuerpo, equilibrando el calor producido metabólicamente y ejerciendo un intercambio de temperatura con el medio ambiente (Tortora y Derrickson, 2013). A pesar de que este mecanismo puede suscitarse en cualquier parte del cuerpo, algunas regiones específicas poseen características que optimizan el intercambio de calor, como el disponer de un área de superficie amplia, rica en vascularidad y, principalmente, con la capacidad de alterar el flujo sanguíneo bajo condiciones diferentes. Dichas regiones se denominan ventanas térmicas biológicas (Romanovsky et al., 2002; Andrade, 2015).

Una de las ventanas más utilizadas ha sido la región ocular, la cual aumenta la precisión y consistencia al emplearse (Church et al., 2014). Así mismo, un estudio en bovinos ha demostrado que la temperatura registrada en el área frontal resulta ser la que mejor refleja la temperatura rectal, en comparación con los flancos, ubre, grupa, oídos y mejillas (Peng et al., 2019). En búfalas de agua, al menos en aquellas que han sido criadas en un ambiente tropical húmedo, la temperatura ocular y de la mejilla han mostrado una correlación positiva significativa con la temperatura rectal (Brcko et al., 2020).

Otras regiones que se han empleado como ventanas térmicas para la evaluación de cambios en la temperatura superficial de búfalos de agua

frente a diversas condiciones han sido la región orbital, el morro, los flancos, la ubre, la vulva y el área escrotal (**Ver Figuras 2 y 3**). Sin embargo, la alternativa de cada una de las áreas antes referidas, así como su eficacia como ventanas dependerá del evento a estudiar, como se mostrará a continuación.

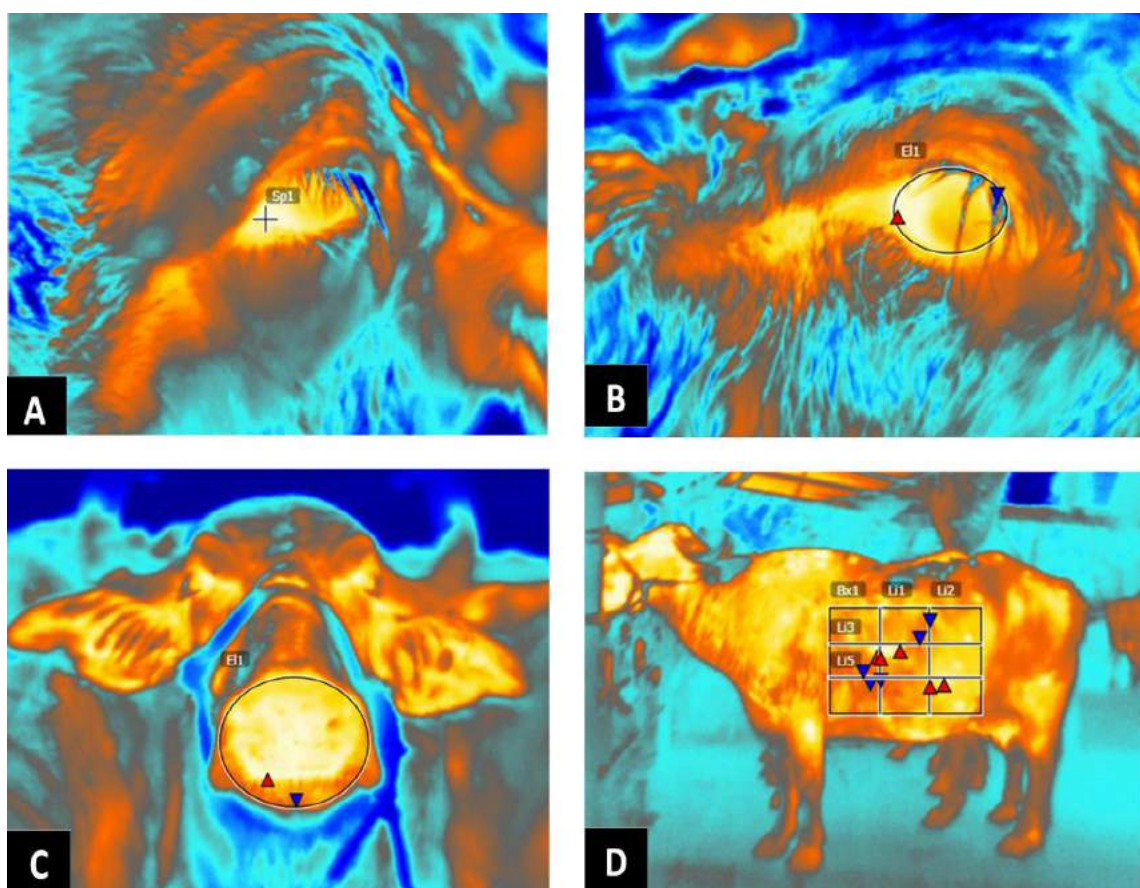


Figura 2. Ventanas térmicas oculares, morro y región lateral en el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) captadas mediante termografía infrarroja. (Termogramas Mota-Rojas et al., 2018).

En la **figura 2A y 2B**, se aprecian la temperatura ocular que ha sido una de las áreas más estudiadas con la termografía infrarroja, debido a que es una buena ventana térmica que evidencia los cambios de la temperatura

corporal atribuidos a una respuesta simpática del sistema nervioso autónomo (Travain et al., 2015).

De acuerdo con Barros et al. (2016) y Ruediger et al. (2018), la región ocular es la que mejor revela la temperatura rectal y la que menos interferencia de la temperatura ambiental experimenta. En el termograma obtenido con una emisividad de 0.95, esta región está rodeada por una elipse que abarca todo el globo ocular. En el termograma **2C**, se distingue el morro. Ruediger et al. (2018) han documentado que el morro refleja la temperatura rectal de manera rápida, precisa y menos invasiva, por lo que puede adoptarse para estudiar el confort térmico de las búfalas lecheras. En el termograma se pueden dibujar tres círculos, uno que rodea la periferia del morro como se ve en la imagen y también se pueden dibujar las narinas (fosas nasales). Cabe destacar que al tomar imágenes termográficas rostrales también es posible evaluar la temperatura otal colocando una elipse que rodee el pabellón auricular. **2D) Región lateral.** Barros et al. (2016) señalan que tanto el flanco derecho como el izquierdo pueden utilizarse como ventana termográfica cuando hay dificultad para analizar la región orbital, aunque se debe tomar en cuenta que el área del flanco izquierdo presenta una elevación de temperatura preprandial (Montanholi et al., 2008). En el termograma la ventana térmica se señala por un rectángulo en cuadrícula.

EVALUACIONES ANDROLÓGICAS

En el proceso de termorregulación del área escrotal, el cono vascular testicular ubicado en la región superior de los testículos, posee la función de intercambiar calor a contracorriente, disminuyendo la temperatura de la

sangre arterial antes de que ingrese al testículo. La trascendencia de este hecho se relaciona directamente con la viabilidad del espermatozoide, pues el aumento de temperatura testicular eleva la probabilidad de alterar la espermatogénesis, afectando la movilidad, viabilidad y morfología de los espermatozoides (Kastelic et al., 2018). Ante ello, la IRT se ha revelado como una herramienta eficiente para identificar daños testiculares causados por estrés, por calor, o por procesos inflamatorios de tipo agudo, dado que ambos procesos derivan en la modificación de la temperatura escrotal (Menegassi et al., 2018).

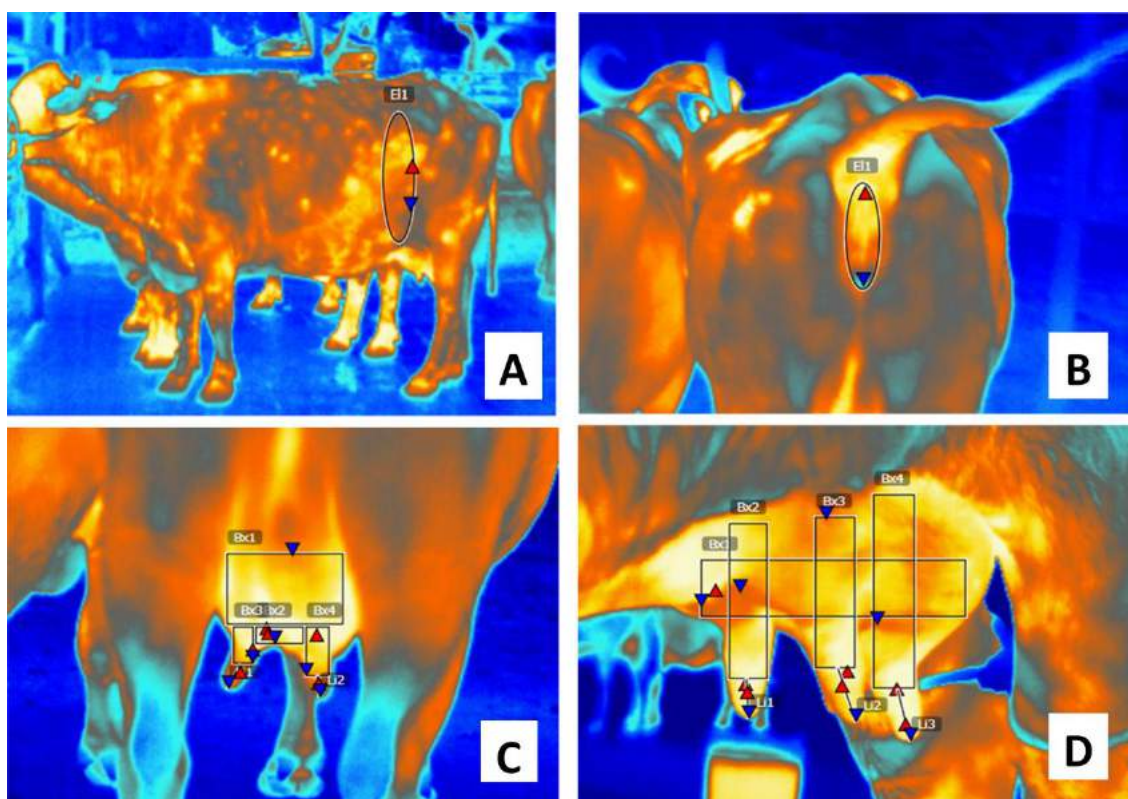


Figura 3. Ventanas térmicas en la región del ljar (región lateral del vientre), vulvar y de la ubre en el búfalo de agua latinoamericano. A) ljar. En el termograma esta zona se encuentra rodeada por una elipse. B) Vulva. De acuerdo con Barros et al. (2016), la vulva es una excelente ventana térmica para determinar los cambios fisiológicos inherentes a la variación de la concentración de progesterona durante el ciclo reproductivo de la búfala. En el termograma la periferia de la vulva se encuentra rodeada por una elipse. C) Ubre posterior y D) Ubre lateral y pezones. (Termogramas Mota-Rojas et al., 2018).

Yadav et al. (2019), partiendo de la premisa de que la termografía puede ser utilizada para evaluar la fertilidad de toros de carne (Lunstra y Coulter, 1993), condujo una investigación para evaluar el efecto del gradiente de temperatura de la superficie escrotal (al determinar la diferencia entre la temperatura del área dorsal y ventral del escroto), el grosor del recubrimiento testicular y la circunferencia escrotal en la calidad del semen de 130 búfalos Murrah para cría, que se encontraban en distintas regiones de la India, donde se presentaba un rango de temperatura de entre 40 a 48°C en verano y una mínima de 1 a 4°C en invierno. Para ello, recurrieron a una cámara infrarroja, con la que registraron la temperatura superficial escrotal de cada búfalo un día antes de la colecta de semen; ultrasonografía, con la que se calculó el grosor del recubrimiento testicular en 38 búfalos y una cinta métrica para calcular la circunferencia escrotal. A pesar de que en los resultados no se detectó una variación en el volumen del eyaculado, probablemente porque las glándulas sexuales accesorias no se afectaron por los cambios de temperatura en el escroto, resultó una mejor motilidad (3.73 ± 0.08) y una mayor concentración espermática (1265.64 ± 30.05 millones/ml) en el grupo III, que poseía un gradiente de temperatura más elevado (por aproximadamente 0.1 a 2.5°C) que los otros grupos. Aunado a una menor cantidad de anomalías espermáticas (7.72 ± 0.77 vs. $11.43 \pm 1.28\%$ del grupo II) en aquellos búfalos con menor grosor del recubrimiento testicular que conformaban el grupo I, aspecto que puede atribuirse a que estos animales presentan una mayor pérdida de calor escrotal y una mayor termorregulación.

El aumento de grosor del escroto se puede asociar con la deposición de tejidos grasos, que actúan como aislantes, suprimiendo la termorregulación testicular al disminuir la cantidad de calor que puede irradiarse del escroto (Coulter et al., 1997; Yadav et al., 2019).

Considerando que la temperatura testicular debe ser entre 4 y 6°C menor que la temperatura corporal central para que no se trastorne el parénquima testicular (Garcia et al., 2010; Kastelic, 2014), los autores concluyen que los búfalos con una mejor capacidad de termorregulación escrotal producen semen con espermatozoides de mayor calidad, razón por la que se debe evitar los factores que alteren el confort térmico (Kastelic and Brito, 2012; Santos et al., 2014). Además no menos importante la termografía escrotal junto con la medición de la circunferencia escrotal y el grosor del testículo, resultan útiles para valorar la calidad del semen producido por los búfalos (Luzi et al., 2013; Malama et al., 2013).

DIAGNÓSTICO DEL ESTRO

Uno de los principales obstáculos a los que se ha enfrentado la ganadería bufalina productora de leche radica en la identificación y detección del estro, lo que suele repercutir en un bajo rendimiento reproductivo (Verma et al., 2014). Con relación a ello, la expresión conductual ha sido un recurso para su identificación; sin embargo, las búfalas solo tienen este tipo de manifestaciones cuando el macho está próximo a ellas (Selvam y Archunan, 2017).

Se han propuesto técnicas de tipo bioquímico y ginecoclínicas, así como parámetros visuales (observar la frecuencia de micción y la textura de la mucosa vaginal) para identificar el estro de forma individual en búfalas (Selvam y Archunan, 2017). Sin embargo, la detección del estro por medio de estos parámetros podría suponer un mayor costo e inversión de tiempo para su valoración, por lo que surge la necesidad de explorar nuevas opciones para este fin. Para una mayor revisión sobre el tema en la implementación de nuevas tecnologías reproductivas se recomienda consultar a Napolitano et al. (2019).

Por otro lado, Ruediger et al. (2018) llevaron a cabo un estudio con 40 búfalos Murrah, con una condición corporal de 3.6 ± 0.3 (rango: 1-5), cuyo objetivo se centró en analizar las variaciones de temperatura del morro, el área orbital y la vulva, las concentraciones de progesterona (P_4) durante la fase folicular y lútea del ciclo estral, así como la influencia del clima en búfalas tratadas con un protocolo hormonal diseñado para sincronizar el tiempo de ovulación. Ello con el fin de evaluar si los cambios microcirculatorios medidos a través de IRT se podrían utilizar en la detección de estros, considerando que los búfalos no expresan comportamiento homosexual que auxiliara en su detección (Singh et al., 2000; Hockey et al., 2009).

Una vez iniciado el protocolo hormonal (que consistió en dos fases: i- inserción de un dispositivo intravaginal liberador de P_4 con 2 mg de benzoato de estradiol; ii- la administración de prostaglandina F_2 alfa y 400 UI de gonadotropina equina, nueve días después, seguido de un tratamiento con GnRH en el día 11). Se tomaron muestras de sangre y ultrasonografía todos los días por las tardes, datos meteorológicos e

imágenes termográficas del morro, vulva y región orbital, durante la mañana y la tarde, seguidas de la toma de temperatura rectal.

Se estimó una correlación de moderada a fuerte entre las ventanas térmicas y las concentraciones plasmáticas de cortisol (orbital: 0.69; morro: 0.54; vulva: 0.42). En cambio, al analizar la relación de la concentración de P_4 con la temperatura superficial de la vulva se calcularon fuertes correlaciones negativas (-0.70), corroborando la hipótesis de que la temperatura superficial de la vulva decrece cuando aumenta al P_4 en el plasma, coincidiendo con lo propuesto por Sykes et al. (2012). Mientras que entre la temperatura superficial del morro y la región orbital, las correlaciones negativas fueron débiles (-0.24 y -0.29, respectivamente). Scolari et al. (2011) y Talukder et al. (2014) han subrayado que la variación de temperatura en la vulva probablemente se vincule al cambio en las concentraciones sanguíneas de estrógenos que ocurren durante el ciclo estral, pudiendo alterar la circulación sanguínea en la vulva. Aunque no hubo eficacia en el diagnóstico del estro, se demostró que las imágenes termográficas de la región orbital, morro y vulva reflejan la temperatura rectal de manera rápida y poco invasiva, por lo que pueden adoptarse para estudiar el confort térmico de la búfala de agua y que, de manera específica, la temperatura superficial vulvar es efectiva para visualizar los cambios fisiológicos inherentes a la variación de la concentración de P_4 durante el ciclo reproductivo (de Ruediger et al., 2018).

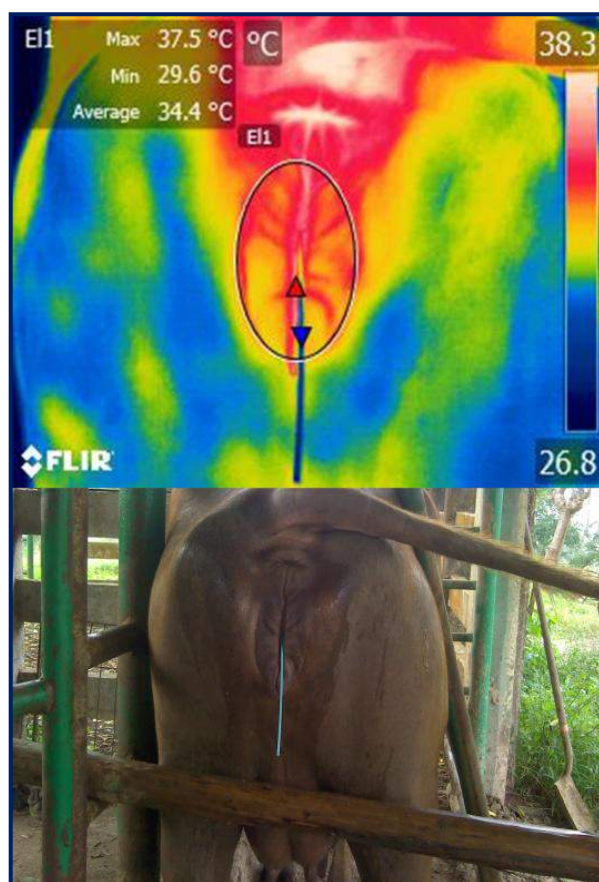


Figura 4. Uso de inseminación a tiempo fijo en el trópico húmedo mexicano. La estacionalidad reproductiva y la dificultad para detectar el celo en las búfalas ha motivado al uso del macho marcador y la adopción de biotecnologías como la sincronización de estro, favoreciendo mayor control del momento óptimo de inseminación, generar lotes con potencial para producir gran parte del año y mejorar genéticamente a partir del uso de semen proveniente de países con programas de mejoramiento genético avanzados, entre los cuales resalta Italia con la raza mediterránea, ya que genera indicadores en función de estimaciones genéticas y de pedigrí, relacionados con características de salud, tipo, productivas y reproductivas (Bertoni et al., 2020). En ese contexto, el uso de termografía infrarroja se ha revelado como una herramienta no invasiva, con potencial para detectar los celos de las búfalas.

SALUD DE LA UBRE DE BÚFALAS LECHERAS

La valoración termográfica de la ubre es cada vez más frecuente y los estudios se han enfocado a evaluar la salud en vacas lecheras,

principalmente en cuanto a la relación entre la temperatura superficial de la ubre y la puntuación obtenida en la prueba de California, sugiriendo así que la IRT también puede servir como herramienta para la detección de mastitis (Colak et al., 2008).

La asociación entre parámetros térmicos mamarios y concentraciones hormonales en búfalas en diferentes etapas fisiológicas ha sido objeto de estudio de Chacur et al. (2018), quienes emplearon 24 búfalas hembras mestizas Murrah agrupadas en: becerras (8 meses de edad), novillas (20 meses de edad), gestantes (32 meses de edad) y lactantes (56 meses de edad); con seis individuos por grupo. Esta investigación se llevó a cabo durante cuatro meses, tomando cada 28 días los siguientes datos: temperatura rectal e imágenes termográficas de la ubre (cuerpo mamario craneal y caudal, cisterna craneal y caudal de glándulas mamarias, y tetas craneales y caudales), así mismo se tomaron muestras sanguíneas para determinar las concentraciones plasmáticas de P_4 , un factor similar a la insulina tipo I, insulina, hormona del crecimiento y estradiol.

La temperatura superficial de los cuartos mamarios craneales y caudales fue más elevada en el grupo de becerras y novillas (Chacur et al., 2018), hallazgo que coincide con la literatura que menciona que las hembras adultas presentan mayor proporción de tejido adiposo en la estructura mamaria (Hovey y Aimo, 2010). Este tejido podría fungir como un aislante térmico y, en consecuencia, dificulta la disipación de calor a través de la piel. En el grupo de las búfalas gestantes se estimó una correlación entre la temperatura rectal y la temperatura de los pezones craneales y caudales,

que a su vez estaba ligada a la temperatura de los cuartos mamarios y su cisterna, lo que denota la existencia de una relación entre la variación de la temperatura y la evolución de la demanda fisiológica de la ubre (Chacur et al., 2018). El desarrollo mamario al final del periodo de la gestación es intenso y existe mayor vascularización y, por ende, mayor temperatura (Prosser et al., 1996; Davidson y Stabenfeldt, 2014).

Otro aspecto sobresaliente en el grupo de las búfalas lactantes del estudio de Chacur et al. (2018), es una reducción de la temperatura rectal y de la superficie de la cisterna, hecho que puede estar relacionado con la disminución de la actividad metabólica y el flujo sanguíneo que ocurre durante la involución mamaria y, como consecuencia, reducción de la producción láctea (Capuco y Akers, 1999).

De esta forma, dichos resultados evidencian la conexión entre la temperatura corporal y la temperatura superficial de la ubre, que obedece a las demandas metabólicas de ambos y que puede ser estudiada con la IRT (Chacur et al., 2018), siempre ponderando que la temperatura puede oscilar dependiendo de la región de la ubre que se evalúe como se muestra en la **Figura 5**.

Los termogramas en la **figura 3** se tomaron inmediatamente después del ordeño mecánico automatizado en las búfalas. Aunado a ello, se debe considerar que, al menos en ganado bovino de carne, en ocasiones la temperatura superficial de la región caudal de la ubre por IRT es diferente y, generalmente, mayor (por 0.2-0.9°C), a la de una toma lateral; además de que la temperatura de la ubre lateral puede oscilar significativamente

dependiendo de la estación del año y de la etapa reproductiva (Deak et al., 2019).

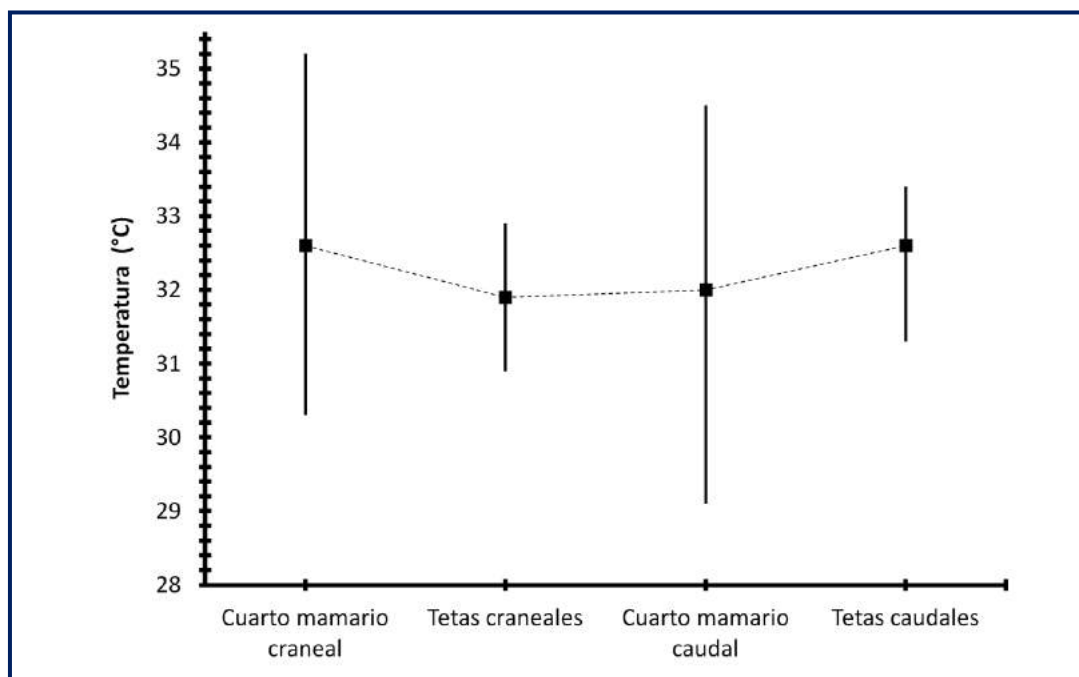


Figura 5. Temperatura superficial de distintas regiones de la ubre de búfala de agua lechera (*Bubalus bubalis*). Se aprecia que la temperatura superficial de los cuartos frontales es mayor que la detectada en los cuartos caudales (32.6 vs. 32°C), mientras que la temperatura superficial de los pezones caudales es mayor que la de los pezones craneales (32.6 vs. 31.9°C). A pesar de las diferencias, la temperatura de los cuatro cuartos se comporta de manera similar y registra una temperatura mínima menor a la de los pezones.

TEMPERATURA SUPERFICIAL DE BÚFALAS EN EL ORDEÑO

De acuerdo con Sevegnani et al. (2016), las búfalas lecheras que permanecen en las salas de espera para el ordeño pueden pasar por un periodo de estrés al exponerse a temperaturas altas mientras esperan, particularmente en sitios que no cuentan con sombra, lo que aunado a su deficiente capacidad de termorregulación, puede interferir en sus índices

productivos, por lo que parece ser indispensable el desarrollo de estudios termográficos durante la rutina de ordeño.

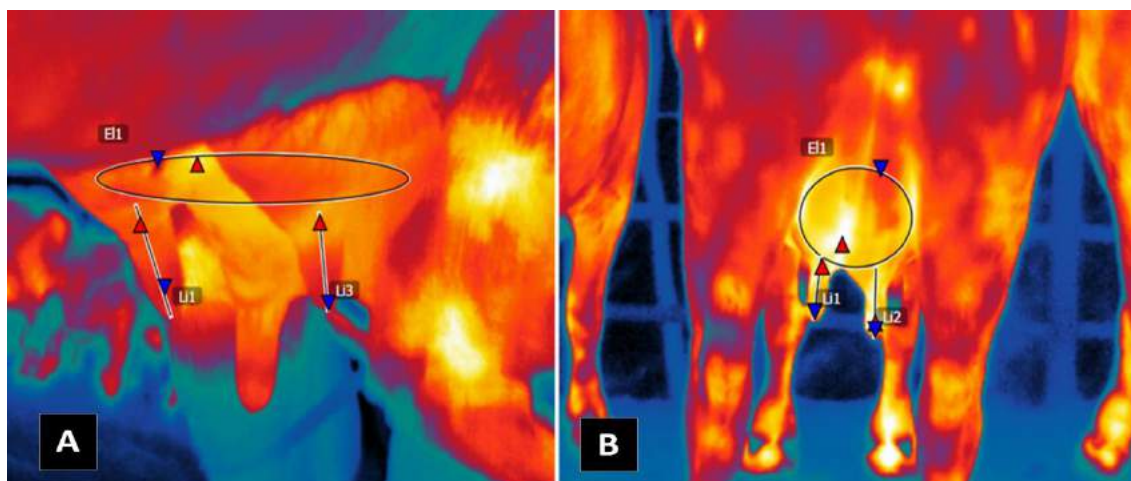


Figura 6. Termogramas infrarrojos de la región lateral izquierda (A) y caudal (B) de la ubre de la búfala de agua inmediatamente después de concluido el ordeño mecánico convencional. Se observan áreas con una coloración amarillenta o blanquecina que representan las zonas con mayor temperatura (de aproximadamente 34.5°. En el termograma (C), se aprecia como estas coloraciones abarcan un 30% de la superficie de los cuartos frontales y un 20% de los pezones craneales. En contraste, se observa que en los cuartos traseros estas coloraciones antes descritas, abarcan un 80% de la superficie de la ubre y un 100% de los pezones caudales. La presencia de temperaturas más elevadas en el área caudal de los cuartos mamarios coincide con lo observado en bovinos lecheros criados en condiciones tropicales.

En la **figura 7** se muestran las temperaturas superficiales promedio de diferentes ventanas térmicas de 20 búfalas lecheras mantenidas en potreros en el trópico húmedo mexicano. Las mediciones mediante IRT comprenden toda la rutina de ordeño manual en diferentes etapas que van desde su estancia en el potrero y antes de entrar a la represa, previo al ordeño, hasta inmediatamente después de concluido el ordeño (Ver **Figura 7**). La

temperatura superficial más baja, independientemente de la etapa, está en el flanco y la temperatura superficial promedio más alta está en la carúncula lagrimal.

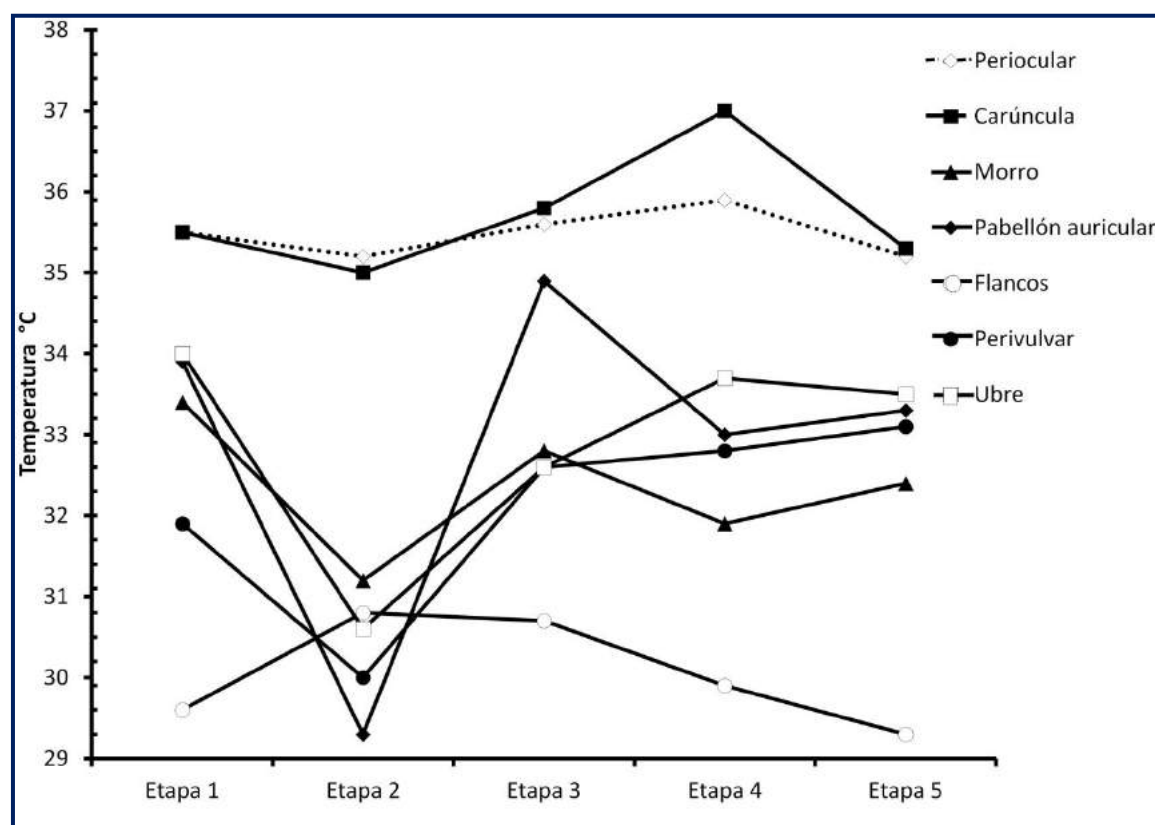


Figura 7. Cambios térmicos registrados por IRT en región periocular, carúncula lagrimal, morro, pabellón auricular, ijar, perivulvar y ubre de la búfala de agua durante la rutina de ordeño manual. Etapa 1) Antes de entrar a la represa. Etapa 2) Previo al estímulo del becerro. Etapa 3) Durante la estimulación con el becerro. Etapa 4) Durante el ordeño. Etapa 5) Después del ordeño.

Además, se distingue que las temperaturas que menos fluctúan se originan en la región periocular y en la carúncula lagrimal, áreas que, como se apuntó anteriormente, padecen menos la interferencia de la temperatura ambiental (Barros et al., 2016; de Ruediger et al., 2018).

Por otro lado, podría afirmarse que la temperatura promedio obtenida a través de las diferentes ventanas térmicas sigue la misma tendencia: disminuye después de entrar a la represa, aumenta con la estimulación del becerro y posteriormente con el inicio del ordeño, para finalmente descender o mantenerse cercana a la temperatura que registraba en la Etapa 1. No obstante, se debe señalar que la temperatura del ijar, morro y pabellón auricular no siempre siguen dicha tendencia. En el caso del ijar, podría considerarse que la influencia de la temperatura ambiental (Barros et al., 2016; Martello et al., 2010) propició un incremento de 1°C en la Etapa 2; sin embargo, se requiere de un análisis más fino para determinar si el descenso de la temperatura de estas tres ventanas térmicas durante la Etapa 4 se puede explicar por una redistribución de la microcirculación dérmica hacia la ubre que está siendo estimulada con el ordeño.

CONSIDERACIONES FINALES

Con la evidencia científica disponible se ha demostrado que, al igual que en otras especies, se puede utilizar la IRT y diferentes ventanas térmicas del búfalo para la valoración de procesos fisiológicos de forma rápida y menos invasiva respecto a otros métodos.

La temperatura del área orbital, así como del morro y la vulva, han mostrado su pertinencia y relevancia para evaluar el confort térmico, aspecto de suma importancia en esta especie dada las condiciones climáticas adversas y sus limitaciones de termorregulación, así como su

constante exposición a temperaturas extremas, que son típicas del trópico húmedo.

Por otro lado, en los machos la evaluación de la temperatura escrotal se ha revelado como una herramienta apropiada para valorar el efecto en la calidad del semen, mientras que la temperatura superficial de la ubre ha mostrado su utilidad para evaluar el desarrollo mamario en las búfalas, ambos aspectos de relevancia zootécnica.

La termografía infrarroja puede sufrir interferencias por modificaciones ambientales, por lo que se recomienda continuar con su estudio como técnica complementaria en el examen reproductivo, para determinar si realmente tienen potencial en la detección del estro, lo cual sería de gran utilidad en la gestión de los sistemas de producción. De igual manera, es necesario que se desarrollen estudios termográficos suplementarios enfocados a evaluar el bienestar del búfalo, pues gracias a este conocimiento podrían proponerse soluciones a problemáticas que perturban tanto el bienestar como la producción de estos animales.

REFERENCIAS

- Alsaad, M., Büscher, W., 2012. Detection of hoof lesions using digital infrared thermography in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95, 735–742. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4762>
- Andrade, D.V., 2015. Thermal windows and heat exchange. *Temperature* 2, 451–451. <https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1040945>

- Angulo, R.A., Noguera, R.R., Berdugo, J.A., 2005. The water buffalo (*Bubalus bubalis*): an efficient user of nutrients; aspects of fermentation and ruminal digestion. *Livest. Res. Rural Dev.* 17.
- Barboza, J.G., 2011. Bondades ecológicas del búfalo de agua: camino hacia la certificación. *Tecnol. en Marcha* 24, 82–88.
- Barros, D.V., Silva, L.K.X., Kahwage, P.R., Lourenço Júnior, J.B., Sousa, J.S., Silva, A.G.M., Franco, I.M., Martorano, L.G., Garcia, A.R., 2016. Assessment of surface temperatures of buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) raised under tropical conditions using infrared thermography. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 68, 422–430. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8327>
- Bertoni, A., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macias, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I., Morales-Canela, A., Gómez-Prado, J., José-Pérez, N., Martínez-Burnes, J., 2020. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 8:288-297. doi.org/10.31893/jabb.20038
- Brcko, C.C., Silva, J.A.R. da, Martorano, L.G., Vilela, R.A., Nahúm, B. de S., Silva, A.G.M., Barbosa, A.V.C., Bezerra, A.S., Lourenço Júnior, J. de B., 2020. Infrared Thermography to Assess Thermoregulatory Reactions of Female Buffaloes in a Humid Tropical Environment. *Front. Vet. Sci.* 7. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00180>
- Capuco, A. V., Akers, R.M., 1999. Mammary Involution in Dairy Animals. *J. Mammary Gland Biol. Neoplasia* 4, 137–144. <https://doi.org/10.1023/A:1018769022990>
- Casas-Alvarado, A., Mota-Rojas, D., Hernández-Ávalos, I., Mora-Medina, P.,

- Olmos-Hernández, A., Verduzco-Mendoza, A., Martínez-Burnes, J., 2020. Advances in infrared thermography: surgical aspects, vascular changes and pain monitoring in veterinary medicine. *J. Thermal Biol.* 92,102664.
- Chacur, M.G.M., Bastos, G.P., Vivian, D.S., Da Silva, L., Chiari, L.N. de F., Araujo, J.D.S., Souza, C.D. de, Filho, L.R.A.G., 2016. Use of infrared thermography to evaluate the influence of the of Climatic Factors in the Reproduction and Lactation of Dairy Cattle. *Acta Sci. Vet.* 44. <https://doi.org/10.22456/1679-9216.81287>
- Chacur, M.G.M., Dantas, A., Oba, E., Ruediger, F.R., Oliveira, R.A., Bastos, G.P., Jorge, A.M., 2018. Avaliação termográfica do desenvolvimento mamário de búfalas e sua regulação endócrina em distintos estágios fisiológicos. *Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec.* 70, 450–456. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9683>
- Church, J.S., Hegadoren, P.R., Paetkau, M.J., Miller, C.C., Regev-Shoshani, G., Schaefer, A.L., Schwartzkopf-Genswein, K.S., 2014. Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle. *Res. Vet. Sci.* 96, 220–226. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2013.11.006>
- Clapper, J.A., Ottobre, J.S., Ottobre, A.C., Zartman, D.L., 1990. Estrual rise in body temperature in the bovine I. Temporal relationships with serum patterns of reproductive hormones. *Anim. Reprod. Sci.* 23, 89–98. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(90\)90051-G](https://doi.org/10.1016/0378-4320(90)90051-G)
- Colak, A., Polat, B., Okumus, Z., Kaya, M., Yanmaz, L.E., Hayirli, A., 2008. Short Communication: Early Detection of Mastitis Using Infrared Thermography in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 91, 4244–4248.

<https://doi.org/10.3168/jds.2008-1258>

Coulter, G.H., Cook, R.B., Kastelic, J.P., 1997. Effects of dietary energy on scrotal surface temperature, seminal quality, and sperm production in young beef bulls. *J. Anim. Sci.* 75, 1048. <https://doi.org/10.2527/1997.7541048x>

Cravello, B., Ferri, A., 2008. Relationships between skin properties and environmental parameters. *Ski. Res. Technol.* 14, 180–186. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0846.2007.00275.x>

Davidson, P.A., Stabenfeldt, H.G., 2014. A glândula mamária, in: Klein, G.. (Ed.), *Cunningham Tratado de Fisiologia Veterinária*. Elsevier, Rio de Janeiro, pp. 439–449.

de Ruediger, F.R., Yamada, P.H., Bicas Barbosa, L.G., Mungai Chacur, M.G., Pinheiro Ferreira, J.C., de Carvalho, N.A.T., Milani Soriano, G.A., Codognoto, V.M., Oba, E., 2018. Effect of estrous cycle phase on vulvar, orbital area and muzzle surface temperatures as determined using digital infrared thermography in buffalo. *Anim. Reprod. Sci.* 197, 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.08.023>

Deak, F.L.G.B., Chacur, M.G.M., Souza, C.D. de, Andrade, I.B., Cornacini, G.F., Garcia, A.R., Gabriel, L.R.A., 2019. Effects of physiological stage and season on infrared thermograms of different body areas of dairy cows raised under tropical conditions. *Anim. Reprod.* 16, 311–316. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2017-0023>

Fisher, A.D., Morton, R., Dempsey, J.M.A., Henshall, J.M., Hill, J.R., 2008. Evaluation of a new approach for the estimation of the time of the LH surge in dairy cows using vaginal temperature and

- electrodeless conductivity measurements. *Theriogenology* 70, 1065–1074. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.06.023>
- Garcia, O.S., Vale, W.G., Garcia, A.R., Ribeiro, H.F.L., Ferro, R.S., RolimFilho, S.T., Sousa, E.M., 2010. Experimental study of testicular insulation in buffalo. *Rev. Vet.* 21, 889–891.
- Hockey, C., Morton, J., Norman, S., McGowan, M., 2009. Evaluation of a neck mounted 2-hourly activity meter system for detecting cows about to ovulate in two paddock-based Australian dairy herds. *Reprod. Domest. Anim.* 45, 107–117. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2009.01531.x>
- Hovey, R.C., Aimo, L., 2010. Diverse and Active Roles for Adipocytes During Mammary Gland Growth and Function. *J. Mammary Gland Biol. Neoplasia* 15, 279–290. <https://doi.org/10.1007/s10911-010-9187-8>
- Kastelic, J., Brito, L., 2012. Ultrasonography for Monitoring Reproductive Function in the Bull. *Reprod. Domest. Anim.* 47, 45–51. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2012.02042.x>
- Kastelic, J.P., 2014. Understanding and evaluating bovine testes. *Theriogenology* 81, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.09.001>
- Kastelic, J.P., Rizzoto, G., Thundathil, J., 2018. Review: Testicular vascular cone development and its association with scrotal thermoregulation, semen quality and sperm production in bulls. *Animal* 12, s133–s141. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001167>
- Knizkova, I., Kunc, P., Gurdil, G.A.K., Pinar, Y., Selvi, K.C., 2007. Applications

of infrared thermography in animal production. J. Fac. Agr. 22, 329-336.

Kyle, B., Kennedy, A., Small, J., 1998. Measurement of vaginal temperature by radiotelemetry for the prediction of estrus in beef cows. Theriogenology 49, 1437–1449. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(98\)00090-9](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(98)00090-9)

Lunstra, D., Coulter, G., 1993. Scrotal Thermography as a Tool for Predicting Semen Quality and Natural-Mating Fertility in Young Beef Bulls. Rom. L. Hruska U.S. Meat Anim. Res. Cent.

Luzi, F., Mitchell, M., Nanni Costa, L., Redaelli, V., 2013. Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine., Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine. Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e zootecniche, Italy.

Malama, E., Bollwein, H., Taitzoglou, I.A., Theodosiou, T., Boscós, C.M., Kiossis, E., 2013. Chromatin integrity of ram spermatozoa. Relationships to annual fluctuations of scrotal surface temperature and temperature-humidity index. Theriogenology 80, 533–541. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.05.019>

Martello, L.S., Savastano Junior, H., Silva, S.L., Balieiro, J.C.C., 2010. Alternative body sites for heat stress measurement in milking cows under tropical conditions and their relationship to the thermal discomfort of the animals. Int. J. Biometeorol. 54, 647–652. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0268-6>

Menegassi, S.R.O., Pereira, G.R., Dias, E.A., Rocha, M.K., Carvalho, H.R., Koetz, C., Oberst, E.R., Barcellos, J.O.J., 2018. Infrared

thermography as a noninvasive method to assess scrotal insulation on sperm production in beef bulls. *Andrologia* 50, e12904. <https://doi.org/10.1111/and.12904>

Montanholi, Y.R., Odongo, N.E., Swanson, K.C., Schenkel, F.S., McBride, B.W., Miller, S.P., 2008. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *J. Therm. Biol.* 33, 468–475. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2008.09.001>

Mosher, M.D., Ottobre, J.S., Haibel, G.K., Zartman, D.L., 1990. Estrual rise in body temperature in the bovine II. The temporal relationship with ovulation. *Anim. Reprod. Sci.* 23, 99–107. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(90\)90052-H](https://doi.org/10.1016/0378-4320(90)90052-H)

Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota Rojas, D., 2019a. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>

Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Sarubbi, J., Braghieri, A., Martínez-Burnes, J., Bertoni, A., Ghezzi, D. et al. 2019b. Capítulo 16. Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja” en Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). *El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales* (p. 512-538), Segunda edición. México, BM Editores.

Mota-Rojas, D., Ghezzi, M.D.; Sarubbi, J., Napolitano, F., José-Pérez, N., Braghieri, A., Martínez, G.M.; Mora-Medina, P., Guerrero-

- Legarreta, I., Barrios, H., Martínez-Burnes, J. 2019c. Capítulo 17. Importancia de la sombra natural o artificial y su efecto en los indicadores fisiológicos y de comportamiento en el búfalo de agua, bovino europeo y bovino índico. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 539-581), Segunda edición. México, BM Editores.
- Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A., Martínez-Burnes, J., Álvarez-Macías, A., Orihuela, A., 2020a. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 9,2103. <https://doi.org/10.31893/jabb.21003>
- Mota-Rojas, D., Olmos-Hernández, A., Verduzco-Mendoza, A., Lecona-Butrón, H., Martínez-Burnes, J., Mora-Medina, P., Gómez-Prado, P.J., Orihuela, A., 2020b. Infrared thermal imaging associated with pain in laboratory animals. *Experimental Animals* 70, 1-12. doi: 10.1538/expanim.20-0052
- Napolitano, F., Arney, D., Mota-Rojas, D., De Rosa, G., 2019. Reproductive technologies and animal welfare, in: *Reproductive Technologies in Animals*. Elsevier, pp. 275–286. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817107-3.00017-5>
- Paim, T.P., Borges, B.O., Lima, P.M.T., Gomes, E.F., Dallago, B.S.L., Fadel, R., Menezes, A.M., Louvandini, H., Canozzi, M.E.A., Barcellos, J.O.J., McManus, C., 2013. Thermographic

- evaluation of climatic conditions on lambs from different genetic groups. *Int. J. Biometeorol.* 57, 59-66.
- Peng, D., Chen, S., Li, G., Chen, J., Wang, J., Gu, X., 2019. Infrared thermography measured body surface temperature and its relationship with rectal temperature in dairy cows under different temperature-humidity indexes. *Int. J. Biometeorol.* 63, 327–336. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-01666-x>
- Pérez-Pedraza, E., Mota-Rojas, D., González-Lozano, M., Guerrero-Legarreta, I., Martínez-Burnes, J., Mora-Medina, P., Cruz-Monterrosa, R., Ramírez-Necoechea, R., 2018. Infrared thermography and metabolic changes in castrated piglets due to the effects of age and the number of incisions in the testicles. *Am. J. Anim. Vet. Sci.* 13, 104–114. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2018.104.114>
- Prosser, C.G., Davis, S.R., Farr, V.C., Lacasse, P., 1996. Regulation of Blood Flow in the Mammary Microvasculature. *J. Dairy Sci.* 79, 1184–1197. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76472-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76472-X)
- Purohit, R., Hudson, R., Riddell, M., Carson, R., Wolfe, D., Walker, D., 1985. Thermography of the bovine scrotum . *Am J Vet Res.* 46, 2388–2392.
- Redden, K.D., Kennedy, A.D., Ingalls, J.R., Gilson, T.L., 1993. Detection of Estrus by Radiotelemetric Monitoring of Vaginal and Ear Skin Temperature and Pedometer Measurements of Activity.

J. Dairy Sci. 76, 713–721. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77394-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77394-4)

Romanovsky, A.A., Ivanov, A.I., Shimansky, Y.P., 2002. Selected Contribution: Ambient temperature for experiments in rats: a new method for determining the zone of thermal neutrality. J. Appl. Physiol. 92, 2667–2679. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01173.2001>

Santos, A.X., Kahwage, P.R., Faturi, C., Quinzeiro Neto, T., Lourenço Junior, J.B., Joele, M.R.S.P., Garcia, A.R., 2014. Feed supplementation with palm kernel cake-based concentrate increases the quality of water buffalo semen. Anim. Reprod. 11, 85–95.

Scolari, S.C., Clark, S.G., Knox, R. V, Tamassia, M.A., 2011. Vulvar skin temperature changes significantly during estrus in swine as determined by digital infrared thermography . J. Swine Heal. Prod. 19, 151–155.

Selvam, R.M., Archunan, G., 2017. A combinatorial model for effective estrus detection in Murrah buffalo. Vet. World 10, 209–213. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.209-213>

Sevegnani, K.B., Fernandes, D.P.B., Silva, S.H.M.-G. da, 2016. Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. Eng. Agrícola 36, 1–12. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p1-12/2016>

- Singh, J., Nanda, A.S., Adams, G.P., 2000. The reproductive pattern and efficiency of female buffaloes. *Anim. Reprod. Sci.* 60–61, 593–604. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00109-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00109-3)
- Stewart, M., Webster, J.R., Stafford, K.J., Schaefer, A.L., Verkerk, G.A., 2010. Technical note: Effects of an epinephrine infusion on eye temperature and heart rate variability in bull calves. *J. Dairy Sci.* 93, 5252–5257. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3448>
- Sykes, D.J., Couvillion, J.S., Cromiak, A., Bowers, S., Schenck, E., Crenshaw, M., Ryan, P.L., 2012. The use of digital infrared thermal imaging to detect estrus in gilts. *Theriogenology* 78, 147–152. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.01.030>
- Talukder, S., Kerrisk, K.L., Ingenhoff, L., Thomson, P.C., Garcia, S.C., Celi, P., 2014. Infrared technology for estrus detection and as a predictor of time of ovulation in dairy cows in a pasture-based system. *Theriogenology* 81, 925–935. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.01.009>
- Tattersall, G.J., 2016. Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. *Comp. Biochem. Physiol. Part A Mol. Integr. Physiol.* 202, 78–98. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2016.02.022>
- Tattersall, G.J., Cadena, V., 2010. Insights into animal temperature adaptations revealed through thermal imaging. *Imaging Sci. J.*

58, 261–268.

<https://doi.org/10.1179/136821910X12695060594165>

Tortora, D., Derrickson, B., 2013. Principios de anatomía y fisiología, in: Principios de Anatomía y Fisiología. Editorial panamericana, España, pp. 1048–1051.

Travain, T., Colombo, E.S., Heinzl, E., Bellucci, D., Prato Previde, E., Valsecchi, P., 2015. Hot dogs: Thermography in the assessment of stress in dogs (*Canis familiaris*)—A pilot study. *J. Vet. Behav.* 10, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2014.11.003>

Verma, K.K., Prasad, S., Mohanty, T.K., Kumaresan, A., Layek, S.S., Patbandha, T.K., Kantwa, S.C., 2014. Behavioural signs of estrus in different parity of murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*): a comparative study. *Indian J. Anim. Res.* 48, 620. <https://doi.org/10.5958/0976-0555.2014.00043.0>

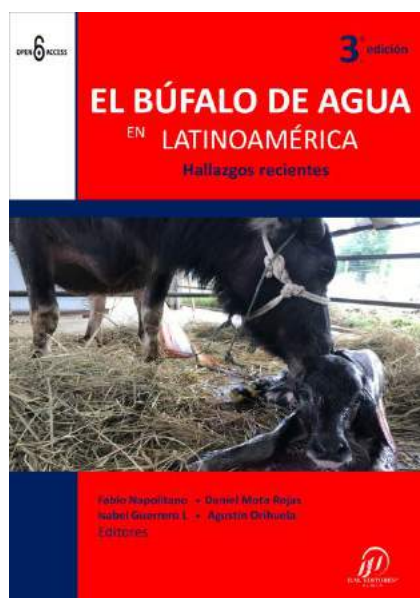
Yadav, S.K., Singh, P., Kumar, P., Singh, S.V., Singh, A., Kumar, S., 2019. Scrotal infrared thermography and testicular biometry: Indicator of semen quality in Murrah buffalo bulls. *Anim. Reprod. Sci.* 209, 106145. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106145>



CAPÍTULO 18

ANATOMOFISIOLOGÍA DE LA GLÁNDULA MAMARIA:
NEUROENDOCRINOLOGÍA DE LA EYECCIÓN LÁCTEA EN LA BÚFALA DE AGUA

Adriana Olmos-Hernández, Marcelo Daniel Ghezzi, Fabio Napolitano, Alex Cuibus, Adolfo
Álvarez-Macías, Ada Braghieri y Daniel Mota-Rojas



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3^a. Edición

CAPÍTULO 18

Anatomofisiología de la glándula mamaria: neuroendocrinología de la eyección láctea en la búfala de agua

S. Adriana Olmos-Hernández¹, Marcelo Daniel Ghezzi², Fabio Napolitano³, Alex Cuibus⁴, Adolfo Álvarez-Macías⁵, Ada Braghieri³ y Daniel Mota-Rojas⁴

¹Neuroendocrinología. Instituto Nacional de Rehabilitación. "Luis Guillermo Ibarra Ibarra" (INRLGII), Secretaría de Salud (SSA), México.

²Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

³Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

⁴Faculty of Animal Science and Biotechnologies. University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine of Cluj-Napoca, Romania.

⁵Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.

INTRODUCCIÓN

Una característica relevante de los mamíferos consiste en poseer órganos especializados en la síntesis y secreción de grandes cantidades de leche (Jena et al., 2015). Este tipo de seres vivos comprende a una amplia variedad de especies, que van desde los más primitivos filogenéticamente (monotremas) hasta el hombre que posee un sistema nervioso complejo. Aunque la glándula mamaria (GM) se puede encontrar en varios tamaños, formas y localización, está especializada en la producción de leche que servirá para alimentar a la/s cría/s. Sin embargo, la anatomía de las glándulas mamarias y la



fisiología de la lactancia difieren según su orden taxonómico, de acuerdo con las demandas evolutivas de la especie (Brennan et al., 2007; Borghese et al., 2007). Köning y Liebich, (2005) indican que la mama está compuesta por complejos mamarios cuya cantidad varía entre las especies, las que se ubican bilateralmente, simétricas y paralelas a la línea media en la pared ventral del tronco. La ubre es el órgano mamario de las vacas, las búfalas y otros mamíferos, como cabras y ovejas, está conformada por cuatro complejos mamarios, cada uno constituido por la GM y los pezones.

El complejo proceso de producción láctea se logra a nivel de la GM, mediante células especializadas llamadas lactocitos, agrupadas en alveolos que permiten su secreción por medio de un sistema de conductos de estructura ramificada (Macias y Hinck 2012; Thomas, 2004). El inicio y mantenimiento de la lactancia comprenden una serie de procesos biológicos complejos en la GM, que incluyen cambios fisiológicos y metabólicos drásticos que ocurren durante la transición de la gestación a la lactancia (Bellmann 1976; Hurley 1989). Debido al grado de cambios anatómicos-funcionales que tienen que ocurrir, en un período no productivo (*seco*) de duración adecuada, donde se prepara a la hembra para la lactancia subsiguiente, influyendo en su salud, bienestar y determinando su vida productiva (Sepúlveda-Varas et al., 2007). Además, el manejo a través de la transición del período no productivo a la lactancia puede afectar directamente el desarrollo de la GM y la producción de leche (Drackley, 1999). Para facilitar la comprensión de los factores que afectan esta transición, se han

desplegado estudios que han explorado ampliamente el desarrollo funcional de la GM a tres niveles genético: fisiológico y morfológico (Hurley 1989, McManaman y Neville 2003). Por ejemplo, la morfología y función particular de la GM que tiene la especie bufalina y que responde a los estímulos físicos y hormonales, se encuentran asociadas a aspectos de productividad como las dificultades de ordeño (Borghese et al., 2007), o bien, la salud de la GM debido a la particular morfología del pezón (Ozenc et al., 2020).

Por lo tanto, el objetivo del presente capítulo, consiste en analizar las características anatómicas y morfológicas de la glándula mamaria, así como el conocimiento generado en torno a la regulación fisiológica de la eyección láctea, comúnmente denominada bajada de la leche en la búfala de agua. Debido a la escasa información disponible sobre la especie, se tratará de hacer una descripción comparativa con las vacas lecheras, ya que ambas pertenecen a la familia *Bovidae*, debido a que comparten bandas de cromosomas y presentan homología de orden de genes (Wu et al., 2013), es decir, guardan un singular parecido dado que responden a un origen evolutivo similar.

1. ANATOMÍA Y ESTRUCTURA DE LA GLÁNDULA MAMARIA DE LA BÚFALA Y DE LA VACA LECHERAS

La presencia de la glándula mamaria (GM) distingue a los mamíferos (*Mammalia*) y está, cualitativa y cuantitativamente, adaptada a las

necesidades de crecimiento y a la conducta de cada especie (Banks, 1996).

La GM es un órgano único responsable de la síntesis (Borghese et al., 2007) y la secreción de la leche, así como de su involución para prepararse a una lactancia posterior. Peaker et al. (1998) establecieron que la glándula mamaria es única por dos aspectos: 1) por que la secreción puede ser continua durante la lactancia, a diferencia de otras glándulas exocrinas que sólo secretan en respuesta a un estímulo; y 2) la sustancia producida (leche) se almacena en el lumen de los alvéolos secretores y el sistema ductal de la glándula hasta su eliminación, ya sea por el amamantamiento de las crías o, en los animales productivos, por el ordeño (Weaver y Hernández, 2016).

Durante la vida del animal, la glándula mamaria probablemente sufre más y mayores cambios de tamaño, estructura, composición y actividad que cualquier otro tejido u órgano (Challana et al., 2014), iniciando desde la vida fetal hasta incluso después de que la glándula ha alcanzado la madurez, ya que aumenta y disminuye durante los sucesivos ciclos reproductivos (Knight y Peaker, 1982); sin embargo las estructuras básicas de las glándulas mamarias se forman en la vida fetal. Considerando su desarrollo ontogénico, se identifican tres etapas principales del desarrollo de la glándula mamaria: embrionario-fetal, puberal y reproductivo, que incluye la gestación-lactancia (Macias y Hinck, 2012). Cada etapa cuenta con características exclusivas durante la vida útil de la hembra, las cuales se pueden separar por tiempo, o bien por requerimiento hormonal. De tal

manera que el desarrollo embrionario-fetal procede en ausencia de regulación hormonal, mientras que las etapas puberal y reproductiva están determinadas por el aporte de hormonas que generan redes de señalización complejas personalizadas que preparan y culminan en la producción y eyección de leche (Macias y Hinck, 2012). Además, se ha documentado que la glándula mamaria sintetiza una variedad de factores de crecimiento peptídicos, citocinas, neuropéptidos y monoaminas biogénicas (5-HT); también contiene el sistema autocrino-paracrino que parece jugar un papel importante en los procesos de desarrollo y control homeostático de la lactancia e involución (Matsuda et al., 2004; Daniel y Smith, 1999).

Características y tipo de glándula

La GM, se desarrolla a partir de las capas germinales del ectodermo y mesodermo en la vida embrionaria. Las células se diferencian para convertirse en la glándula mamaria funcional durante la vida fetal temprana (Challana et al., 2014). Se caracteriza por ser una glándula epitelial exocrina altamente especializada, considerada histológicamente como una glándula sudorípara modificada de tipo lóbulo alveolar, evolucionada para la producción de leche (Jena et al., 2015).

Es claro que la GM se distingue por su estructura anatómica única, que secreta leche con el fin de nutrir al recién nacido, ya que posee la propiedad de convertir en leche los nutrientes que han sido

transportados por la sangre. Las glándulas mamarias son apéndices epidérmicos que evolucionaron hace más de 300 millones de años, las investigaciones sugieren que muy probablemente a partir de glándulas sudoríparas apócrinas (Ofstedal, 2002).

Al nacer, la glándula es sólo un sistema ductal rudimentario, sin embargo, es competente para producir leche; ya que se ha reportado que la exposición fetal a las hormonas maternas puede provocar la extracción de leche en los bebés humanos. Cabe señalar que, a medida que disminuye esta influencia endocrina, la glándula mamaria pasa por un período de crecimiento alométrico, manteniéndose al día con el desarrollo general del cuerpo, hasta la pubertad, cuando ocurre una proliferación expansiva, bajo la influencia de hormonas y factores de crecimiento (Macias y Hinck, 2012). Las hormonas identificadas como responsables de estos efectos son: la Hormona del Crecimiento (GH) y la Prolactina (PRL), sin embargo, en estudios posteriores demostraron la presencia del factor de crecimiento similar a la insulina 1 (Igf1) o receptor de estrógeno (alfa) (Esr1), genes que median las vías que regulan la excreción ductal y la morfogénesis (Macias y Hinck, 2012).

Localización y características morfológicas

La disposición, número y localización de las glándulas mamarias varía según el orden taxonómico (Ayadi, 2003). En la búfala, así como en la vaca lechera se encuentra localizada en la zona inguinal, su forma es

sacular, redondeada y aplanada transversalmente, la base es ligeramente cóncava y se inclina oblicuamente hacia ventral (Sisson y Grossman, 1982).

La ubre de búfalas y vacas están conformadas por cuatro mamas o glándulas, comúnmente llamados cuartos, totalmente independientes, dos craneales (anteriores o delanteras) y dos caudales (posteriores o traseras), las cuales conforman un complejo mamario (Bradley, 2014), constando cada una de ellas de un cuerpo glandular o cuerpo mamario y de un pezón; los complejos mamaros se dividen en derechos e izquierdos, separados por el surco intermamario profundo (Köning y Liebich, 2005). Cada cuarto es una unidad funcional en sí misma que opera independientemente y drena la leche por medio de su propio conducto. En las vacas lecheras se ha referido que el par de glándulas caudales (posteriores) son ligeramente más desarrolladas y eyectan un porcentaje mayor de leche que el par craneal (anterior), (60% y 40% respectivamente). En las búfalas, las glándulas caudales (cuartos posteriores) están ligeramente más desarrolladas que las craneales (anteriores), con un mayor porcentaje de tejido secretor (25 al 50%), que puede llegar a producir más del 50% del total de la leche secretada (Amaral y Escrivão, 2005).

La GM está cubierta externamente por una piel suave y elástica, provista de vello fino excepto en los pezones, los cuales presentan arrugas y una epidermis rica en células pigmentadas, que proporciona protección contra la radiación solar (Uppal et al., 1994). Es de apariencia redondeada y se encuentra externamente en la cavidad

abdominal, adosada a su pared mediante un sólido aparato suspensor (Figura 1).

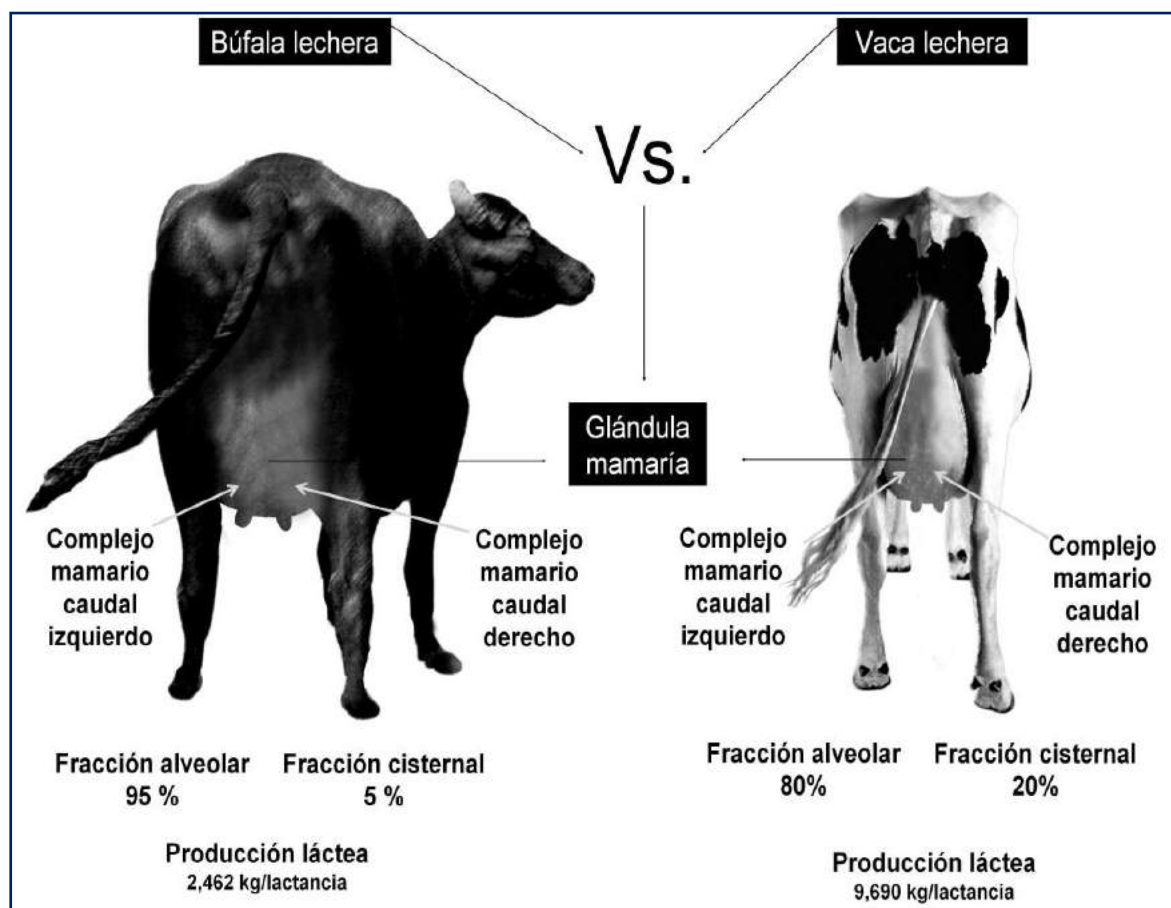


Figura 1. Comparativa morfológica de la glándula mamaria de la búfala y vaca lecheras, características anátomo-funcionales que influyen sobre el nivel de desempeño productivo. Las búfalas han mostrado un menor desarrollo en el complejo mamario a diferencia de las vacas lecheras, característica que les ha permitido sintetizar mayor volumen de leche.

Características morfológicas

Como es bien sabido, la GM es el órgano clave para el proceso complejo de la producción de leche, sin embargo, se han identificado múltiples factores que influyen de manera considerable en los rasgos

de productividad y de composición láctea, como las características morfológicas de la ubre (Espinosa et al., 2006; Espinosa-Núñez et al., 2013).

Se ha documentado que durante el período evolutivo de la embriogénesis y madurez sexual, las glándulas mamarias pasan por varias transformaciones respecto a su morfología, que influirán a lo largo de su vida productiva, así que la conformación de la ubre no es estática, y altera su forma con las sucesivas lactancias; la GM en promedio se estabiliza, en la quinta lactancia en la especie bubalina (Rao y Murthy, 1991; Akhtar et al., 1999).

En la Figura 2, se ilustran los cambios en el desarrollo mamario femenino en el bovino, desde la cría hasta la gestación y la lactancia. La columna de la izquierda expone los principales eventos y los períodos del desarrollo; la columna central muestra los cambios en la apariencia histológica del tejido parenquimatoso mamario; y en la columna de la derecha se enumeran algunos de los reguladores que son importantes durante cada una de estas etapas de desarrollo.

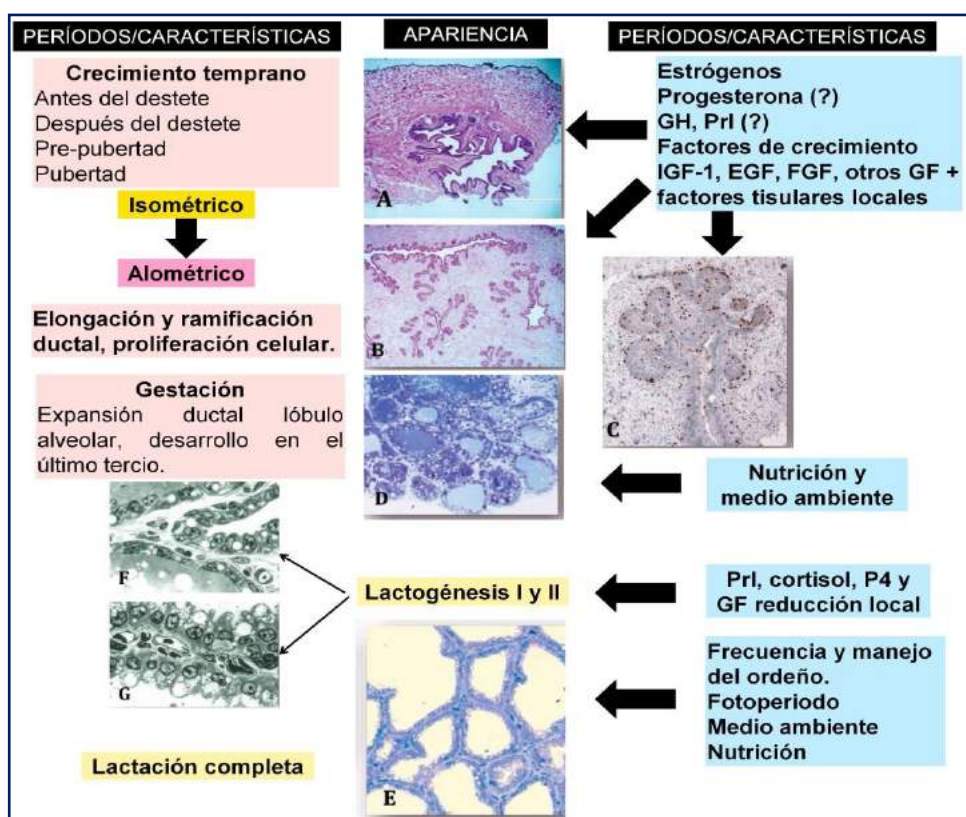


Figura 2. Descripción general del crecimiento y desarrollo mamario bovino (Akers, 2017). (A) Parénquima rudimentario de una ternera muy joven. (B) Parénquima mamario de una ternera prepúber bien alimentada al destete. (C) Vista de una estructura ductal en desarrollo de una ternera prepuberal que fue inyectada con 5-bromo-2-desoxiuridina (BrdU) 24 h antes de que se recolectara el tejido. Las manchas oscuras aparecen en los núcleos celulares que han incorporado BrdU (una medida de proliferación). (D) Alvéolos en desarrollo de la glándula mamaria de una novilla preñada (~ 170 d de gestación). (E) Vista a baja potencia de los alvéolos en sección transversal de una vaca con lactancia establecida. La glándula se ordeñó minuciosamente antes de la recolección de tejido. (F) Vista de alta resolución del tejido alveolar ~ 2 semanas antes del parto; se aprecia una mínima diferenciación celular. (G) Imagen de alta resolución del tejido alveolar ~ 2 semanas después del parto; nótese la espectacular polarización de las células, los núcleos redondeados, las abundantes vesículas secretoras y las gotitas lipídicas. GH = hormona del crecimiento, Prl = prolactina, EGF = factor de crecimiento epidérmico, FGF = factor de crecimiento de fibroblastos, GF = factor de crecimiento, P4 = progesterona.

En las búfalas las características de la GM que se logran evaluar para correlacionarlas con la productividad láctea son su profundidad, longitud y ancho, debido a su relación directa con el volumen

mamario; ya que se ha reportado, que las GM más voluminosas en los bovinos (*Bos taurus-Bos indicus*) detentan mayor cantidad de tejido secretor y, por consiguiente, una mayor producción de leche, razón por la cual se ha asociado de manera positiva el volumen de la GM con la productividad de leche (Bhuiyan et al., 2004), ver comparativa morfológica de la **Figura 1**. Así también, el incremento en la longitud de la GM tienen un efecto directo en la capacidad de almacenamiento de la glándula, de ahí que la longitud influya positivamente en la leche producida (Espinosa-Núñez et al., 2013). La evaluación morfológica es conveniente para la mejora en las características de la ubre, que permitirá además una buena capacidad de ordeño; adicionalmente, están asociadas con la posible susceptibilidad a infecciones, que en determinados momentos también pueden afectar la producción de leche de un rebaño.

Dentro de las diferencias anatómicas entre las búfalas y vacas lecheras, se ha reportado que las últimas han mostrado mayor desarrollo en el complejo mamario, lo que les ha permitido sintetizar grandes cantidades de leche (Bradley, 2014). Sin embargo las vacas sólo concentran el 20% de la leche en la cisterna de la ubre, mientras que la búfala almacena hasta el 95% de la leche en el compartimiento alveolar (Thomas, 2004). De tal manera que se requiere de una eyección activa, es decir, con influencia de la oxitocina (OT) para que la leche de la fracción alveolar se encuentre disponible. Esta característica de las búfalas las hace propensas a pérdidas inmediatas de producción láctea y a la apoptosis en el epitelio mamario, debido a

una extracción incompleta de la leche de esta fracción; por lo que es imperativo una técnica de ordeño eficaz (Stefanon et al., 2002).

En las hembras bubalinas de la raza Murrah y sus mestizas, se han descrito como formas anatómicas predominantes de la ubre: las divididas, pendulares, en forma de cabra y de pera. Igualmente se han descrito cuatro formas anatómicas de pezones: cilíndrica, cónica, en botella y de pera; las más comunes son las dos primeras (Rao y Murthy, 1991).

En las búfalas, se ha observado que presentan pezones de mayor longitud y grosor, con canales más estrechos en comparación con el de las vacas lecheras, además de un esfínter más cerrado, característica anatómica típica del búfalo de agua, lo cual le favorece a la menor predisposición de presentar mastitis (Borghese et al., 2007). En distintas razas de búfalas, se ha evaluado el rasgo morfobiométrico de los pezones, mostrando que la raza de búfalo Mediterráneo presentan los pezones con una longitud de 6,3 a 8,5 cm, mientras que en la raza Murrah los pezones craneales (anteriores) tienen una longitud entre 5 y 14 cm y los caudales (posteriores) entre 8 y 16 cm (Borghese et al., 2007). En esta misma raza se han señalado cuatro formas de pezones: cilíndrica, cónica, en botella y piriforme; las más comunes son las formas cilíndricas en un 48% de los casos (Rao y Murthy, 1991).

Cabe señalar que las formas de la punta del pezón generalmente se agrupan dentro de cinco categorías: puntiagudas, redondeadas, planas, de disco o en forma de plato, e invertidas (Chrystal et al., 1999;

Chrystal et al., 2001), y se consideran parte del mecanismo de defensa pasiva contra la invasión de microorganismos al interior de la GM (Riera-Nieves et al., 2006). Además, Prasad y Laxmi (2014) hallaron que la mayoría de las búfalas de esta raza, con todas las formas de GM y con pezones cónicos, de pera, cilíndricos y en forma de embudo eran de temperamento dócil. Los temperamentos ligeramente inquietos e inquietos fueron más frecuentes en las búfalas con pezones en forma de biberón. Sin embargo, no hubo una variación significativa en las frecuencias de las búfalas con diferentes puntajes de temperamento entre varias categorías de forma de pezón y de GM. Tampoco se detectaron diferencias significativas entre los grupos de temperamento para varias medidas de la GM y de los pezones estudiados. La producción de leche promedio en las categorías dócil, levemente inquieta, inquieta, agresiva y nerviosa fue de 6.70 ± 0.15 , 6.50 ± 0.34 , 5.70 ± 0.26 , 4.90 ± 0.30 y 4.60 ± 0.34 kg, respectivamente. La morfología de las GM y los pezones no influye en el temperamento, pero es evidente que el temperamento influye en la producción de la leche, por lo que derivaría en la preferencia por las búfalas con temperamento dócil para su uso en los programas de cría.

La ubre está dividida en dos mitades (izquierda y derecha) por el surco intermamario profundo (*sulcus intermamarius*) producido por la tensión del ligamento suspensorio medio. Las mamas craneales (anteriores) y las caudales (posteriores) están divididas por una fina lámina de tejido conjuntivo. El peso de la GM es de aproximadamente 5 a 10% del peso vivo, el cual se ve influido por diversos factores,

como: la edad del animal, el número de lactancias, la cantidad de leche presente en la glándula y las características genéticas (Caja et al., 2002).

Estructura interna

En general, la anatomía macroscópica de la glándula mamaria difiere mucho entre las diferentes especies (Borghese et al., 2007), ya que el número de glándulas y pezones no son iguales en la búfala, vaca, cabra, cerda, perra o yegua, por mencionar algunas especies, sin embargo, la anatomía microscópica es muy similar en todas ellas.

La GM está formada por una red ramificada de conductos que terminan en los alvéolos (Jena et al., 2015). Sufre cambios cíclicos de desarrollo durante la gestación, la lactancia y la involución, y el desarrollo durante varias fases funcionales se rige en gran medida por la acción coordinada de las hormonas reproductivas y los factores de crecimiento. Se dispone de más tejido conectivo y grasa antes de la pubertad, con un moderado alargamiento de los conductos mamarios que tienen células epiteliales mamarias (MEC) invaginándose en la almohadilla de grasa; cabe señalar que este proceso de invaginación no es dependiente de la acción hormonal (Jena et al., 2019). Al comienzo de la pubertad, las hormonas esteroideas ováricas aceleran la extensión y ramificación de los conductos mamarios (Jena y Mohanty, 2017). Durante la gestación, la ramificación ductal continúa. Una mayor ramificación de estos conductos constituye los lóbulos que están formados por alvéolos. La capa más interna de los alvéolos está

formada por células epiteliales que se diferencian y secretan leche después del parto.

En general, la GM está formada por dos estructuras principales: el parénquima o tejido glandular (secretor) y el estroma. El tejido secretor está formado por alvéolos, (Parekh, 2002) los cuales presentan su pared revestida por un epitelio simple secretor de células cúbicas llamadas lactocitos, ubicados sobre una membrana basal y rodeados por un sistema capilar arterio-venoso y por células mioepiteliales; que generan la capa externa de la glándula, y una pequeña población de células madre (Macias y Hinck, 2012).

Los alvéolos están encapsulados por tejido conectivo (34 - 168 alvéolos) para formar los lobulillos mamarios (*Lobuli glandulae mammae*) (Patel et al., 2007). Éstos a su vez se unen para formar los lóbulos (*Lobi glandular mammae*). Los que forman el lobulillo, donde se secreta la leche se vacían mediante pequeños ductos, en unos túbulos llamados intralobulillares formados por epitelio cúbico biestratificado, los cuales desembocan en un espacio colector central, del cual emergen los ductos interlobulillares o galactóforos, de epitelio plano poliestratificado no queratinizado, que vierten la leche en los llamados conductos lactíferos (Espinosa, 2011), **Figura 3**.

Las MEC diferenciadas terminalmente constituyen la capa más interna de los alveolos. Son células cuboideas secretoras de proteínas de la leche durante la lactancia (Janjanam et al., 2013).

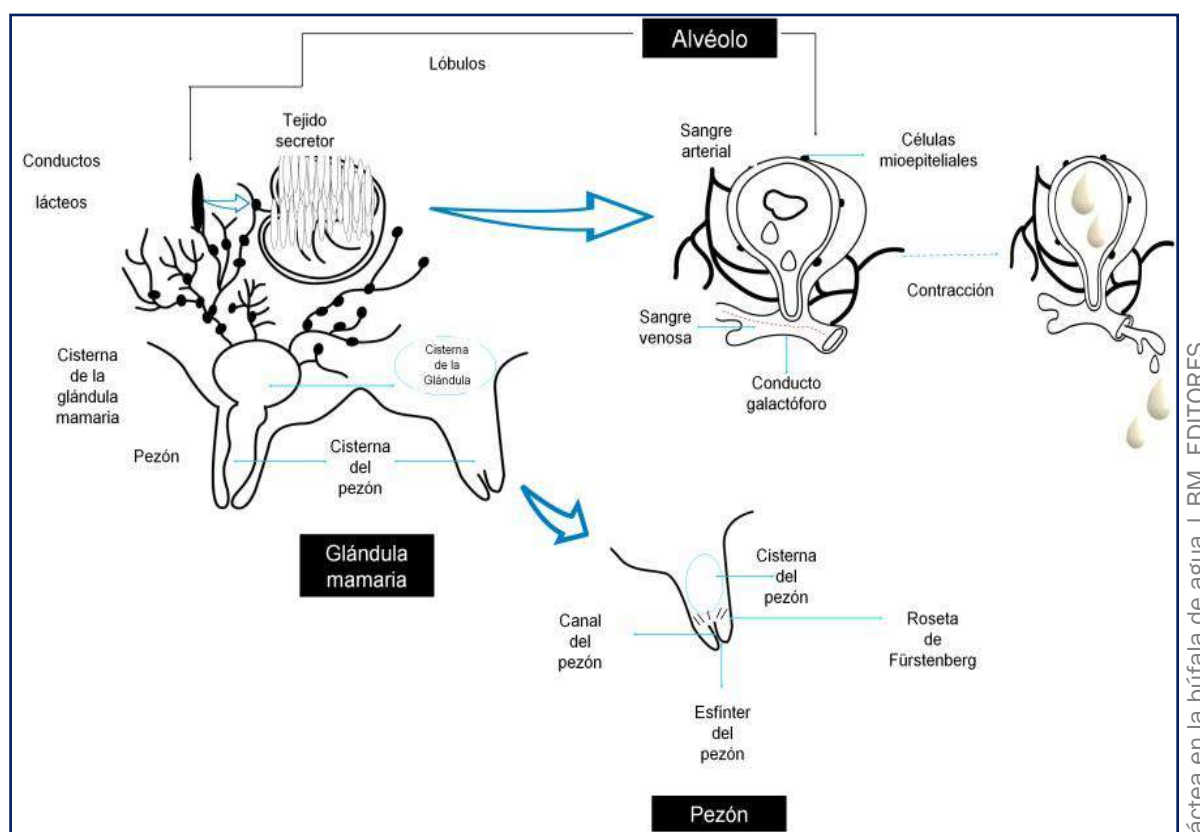


Figura 3. Tejido secretor: alvéolos con los conductos alveolares y galactóforos, que conforman el sistema secretor de la leche.

El pliegue anular y un círculo venoso eréctil, el anillo venoso de Fürstenberg están presentes en la unión entre la glándula y la cisterna del pezón. El canal del pezón presenta pliegues longitudinales que se proyectan hacia el conducto del pezón formando la roseta de Fürstenberg. Ozenc et al. (2020), mediante la realización de exámenes macroscópicos comparativos de los pezones de la vaca y de la búfala encontraron que el espacio desde la sección de la roseta de Fürstenberg hasta el área del seno del pezón es más estrecho en las búfalas que en las vacas lecheras, Figura 4. Además, los pliegues mucosos observados desde el conducto papilar hasta el seno del

pezón fueron más evidentes en las búfalas que en las vacas. La longitud media del conducto del pezón fue de $5,95 \pm 0,28$ y $6,37 \pm 0,25$ cm. en los pezones craneales (anteriores) y caudales (posteriores), respectivamente.

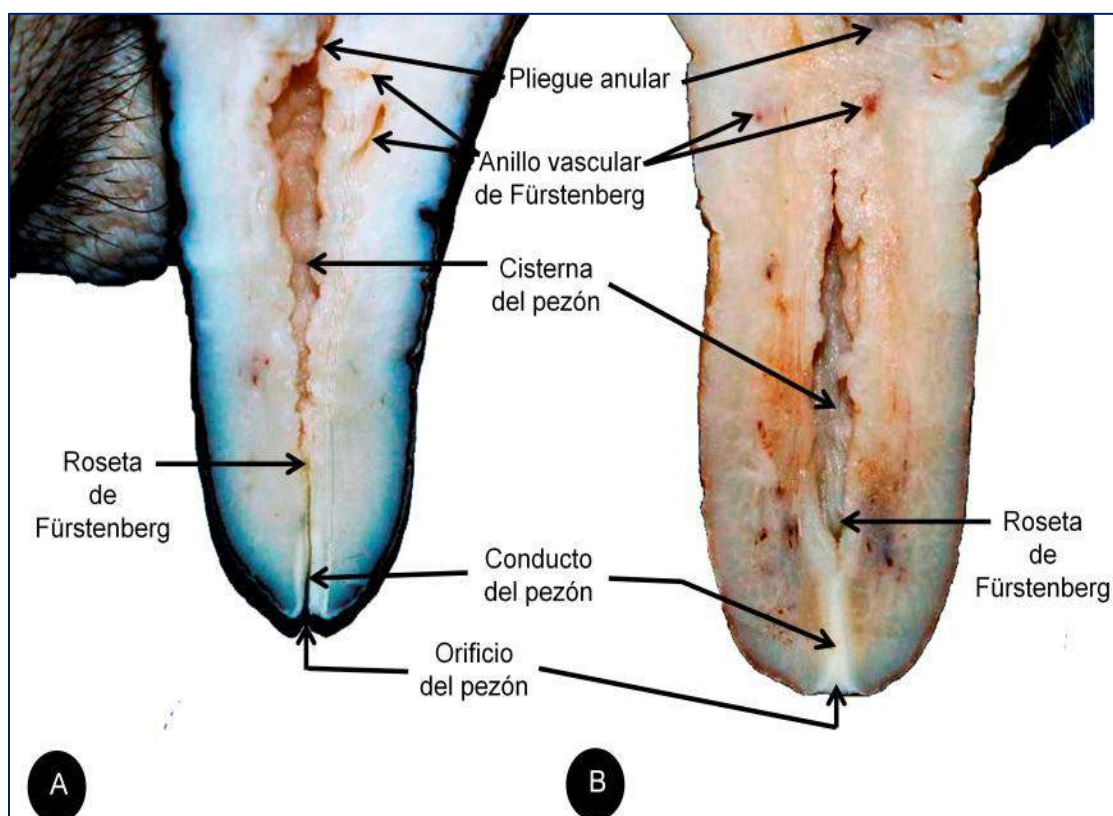


Figura 4. Sección transversal de los pezones: A = Búfala y B = Vaca.

Las glándulas mamarias de los rumiantes están formadas por un tejido heterogéneo que contiene diversas poblaciones de células, incluidas las MEC, las células mioepiteliales, los fibroblastos y los adipocitos. Las células epiteliales mamarias son las principales células presentes en la glándula mamaria lactante y son responsables de la síntesis de la leche. El número de MEC en la glándula mamaria y su actividad secretora son factores clave que regulan la producción de leche. Se ha

reportado que el número de células mamarias en la GM varía durante la lactancia, junto con las variaciones en la producción de leche, y está regulado por el equilibrio entre la proliferación celular y la apoptosis (Herve et al., 2016)

Sistema de soporte o sujeción. Un grupo de ligamentos y tejido conectivo mantienen a la ubre cerca de la pared corporal. Las mamas craneales (anteriores o delanteras) se encuentran separadas de las caudales (posteriores o traseras) por un septo fino de tejido conectivo no definido anatómicamente, mientras que las derechas están separadas claramente de las izquierdas por el ligamento suspensorio medio. El ligamento suspensorio medio y los ligamentos laterales emiten ramificaciones difusas hacia el interior de la glándula y conforman, junto con la piel el sistema suspensorio de la ubre (Schmidt y Van Vleck, 1974), **figura 5**. Dicho sistema es muy fuerte e importante, ya que deberá soportar, no sólo el peso constitutivo de la ubre, si no también soporta la leche que se produce en la glándula mamaria (Bradley, 2014). Cabe mencionar que la búfala a diferencia de la vaca lechera, tiene una menor producción de leche y evidentemente una GM de menor tamaño, debido a que su glándula mamaria esta menos desarrollada que el de las vacas lecheras.

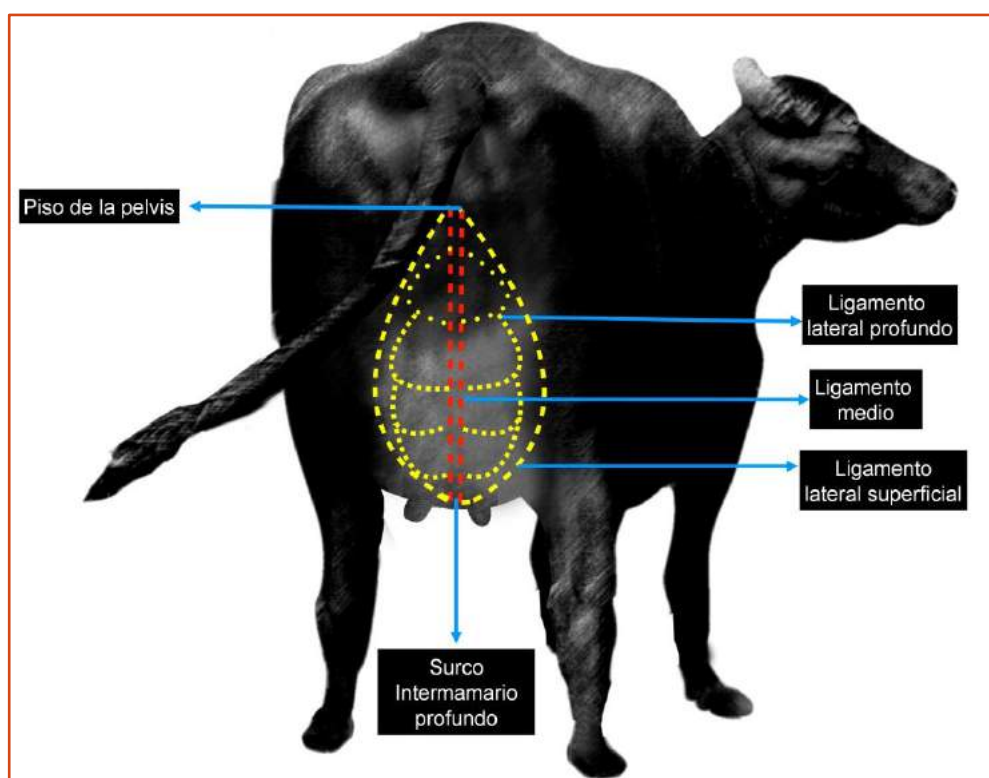


Figura 5. Tejido de sujeción de la glándula mamaria. Tejido conjuntivo elástico originado a partir de la túnica abdominal y conocido como el sistema suspensorio, el cual permite soportar la glándula mamaria y la cantidad de leche que se produce; con un menor desarrollo en la búfala en comparación con la vaca.

2. MECANISMO NEURO-ENDÓCRINO DEL REFLEJO DE LA EYECCIÓN DE LA LECHE

La eyección de la leche consiste básicamente en el transporte activo de la leche que se encuentra en los alveolos y transita hacia el compartimento de la cisterna de la glándula. Es decir, consiste en la contracción de las células mioepiteliales que rodean a los alvéolos mamarios y el posterior traslado de la leche a través del sistema de conductos lácteos (Crowley y Armstrong, 1992). La eyección de la leche es importante durante el ordeño o la lactancia para obtener la

fracción de leche alveolar, que puede representar más del 80% de la leche almacenada en el compartimento alveolar de la GM y sólo el 20% en la cisterna de las vacas lecheras (Bruckmaier y Wellnitz, 2008), mientras que en las búfalas de agua, se reporta que la cisterna mamaria y del pezón contienen aproximadamente el 5% del total de la leche, debido al pequeño tamaño de las cisternas de esta especie (Thomas, 2004). Cabe resaltar que esta fracción de leche cisternal está disponible para el ordeño automático o para la cría lactante antes de que se produzca la eyección de la leche; ya que la leche alveolar sólo está disponible si es expulsada activamente (Bruckmaier y Wellnitz, 2008). Dicha expulsión es inducida por el neuropéptido oxitocina (OT), liberado por la glándula pituitaria o hipófisis posterior como respuesta a diversos estímulos, como la estimulación táctil del pezón por parte de la cría, la mano del ordeñador o, bien, la máquina de ordeño. De tal manera que la eyección de la leche es fundamental para disponer de la fracción alveolar para la extracción del total de la leche.

Al igual que en el resto de las especies mamíferas y más específicamente en vacunos y bubalinos, la eyección de la leche desde la glándula mamaria está en gran medida regulada por un complejo reflejo innato (neuroendocrino), el cual se inicia con los estímulos nerviosos que desencadenan respuestas hormonales diversas.

Modulación hipotalámica-hipofisiaria

El reflejo de eyección de la leche se produce como resultado de la estimulación nerviosa a nivel del pezón y de la glándula mamaria por parte de las crías lactantes o la máquina de ordeño. Esta estimulación es seguida de la transmisión de impulsos nerviosos a través de la glándula mamaria por conexión de las ramas nerviosas aferentes a las raíces dorsales de la médula espinal. Mediante estas raíces el impulso nervioso finalmente llega a la zona hipotalámica del cerebro, específicamente a los núcleos supraópticos y paraventriculares. La estimulación de estos núcleos hipotalámicos provoca la liberación de oxitocina desde su sitio de almacenamiento en las neuronas magnocelulares que se extienden hacia la neurohipófisis y a través de la hipófisis posterior hasta la circulación sistémica. Se ha reportado en vacas lecheras, que, con el estímulo de la aplicación de las pezoneras para ordeño, dos minutos después las concentraciones plasmáticas de oxitocina aumentan, posteriormente disminuyen lentamente, alcanzando concentraciones basales entre los 10 y 15 minutos (Lollivier et al., 2002).

Una vez que la oxitocina es transportada por la circulación sistémica hasta la glándula mamaria, se produce en respuesta a las concentraciones elevadas de oxitocina en la sangre, la unión de la OT a sus receptores de membrana específicos ubicados en las células

mioepiteliales mamarias, que rodean los alvéolos y los pequeños conductos intralobulillares; de esta manera se estimula la contracción mioepitelial, que a su vez provoca el aplanamiento de la luz alveolar, forzando a que la leche almacenada en los alvéolos se desplace con fuerza a los conductos galactóforos en dirección a la cisterna de la glándula y del pezón, finalmente la expulsión de la leche hacia el exterior a través del canal excretor del pezón (Bruckmaier y Wellnitz, 2008), figura 6.

La eyección de la leche de la cavidad alveolar provoca un aumento rápido de la presión dentro de la cisterna mamaria y, por consiguiente, un aumento del tamaño de la cavidad de la cisterna (Bruckmaier y Wellnitz, 2008; Bruckmaier et al., 1996); sin embargo, debido a el espacio limitado de la cisterna mamaria de la búfala, no toda la leche alveolar puede ser expulsada si no se extrae simultáneamente de la GM (Bruckmaier et al., 1997). Por otro lado, una cisterna mamaria vacía durante el ordeño puede provocar una alteración de la extracción de leche. Al final de la ordeña o amamantamiento debe lograrse la secreción completa de la leche por dos razones, primera, para mantener alto el nivel de síntesis y secreción de leche durante la lactancia que está en curso y, segunda, disminuir el riesgo de una infección por la presencia de leche residual (Bruckmaier y Wellnitz, 2008).

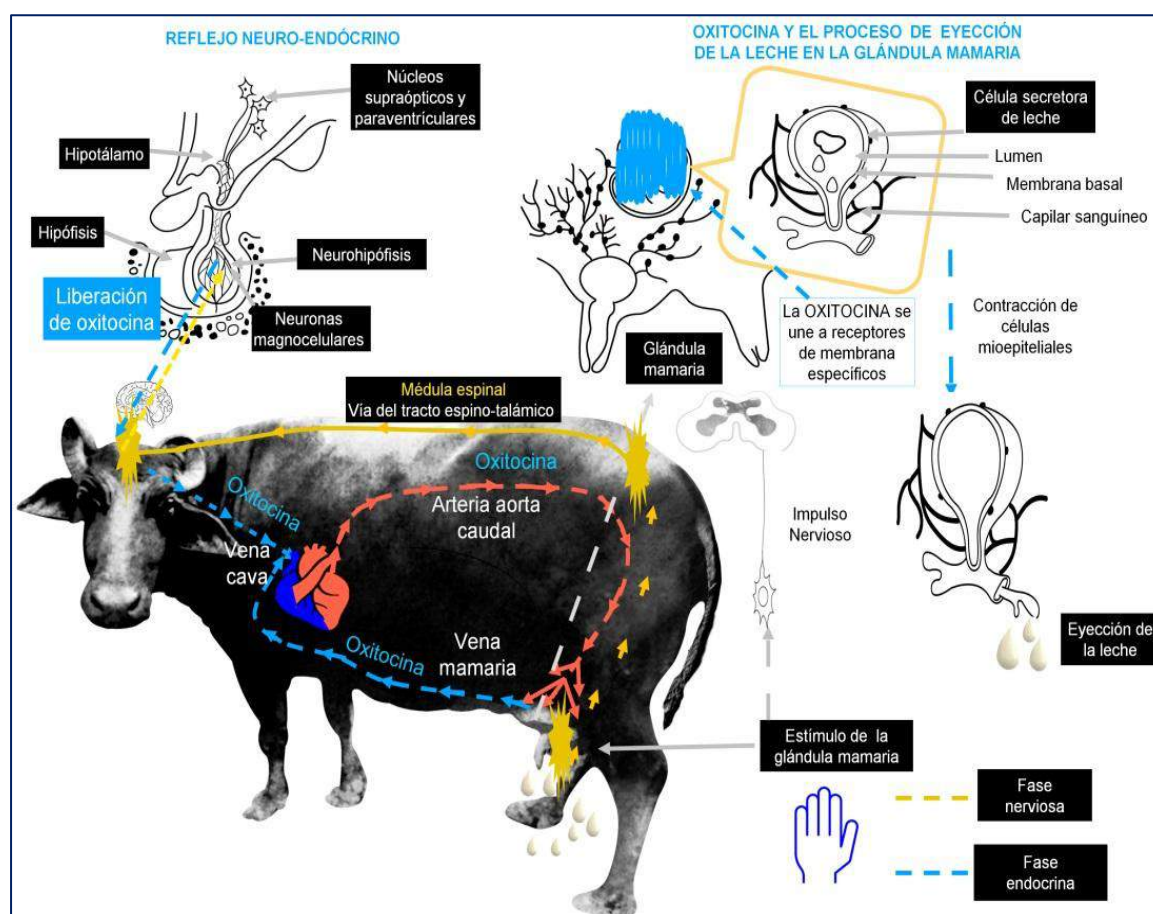


Figura 6. La eyección de leche es un reflejo neuroendocrino que ocurre en respuesta a los estímulos sensoriales, al activarse las terminaciones nerviosas sensitivas presentes en la glándula mamaria, se transforma este estímulo en impulsos nerviosos, que viajan por vía del tracto espino-talámico y los fascículos dorsales longitudinales hasta los núcleos supraópticos y paraventriculares del hipotálamo. Las neuronas de estos dos sitios sintetizan la OT, la cual es transportada a través de sus axones hacia la neurohipófisis donde se almacena. Posteriormente la OT es liberada al torrente sanguíneo hasta receptores específicos de las células mioepiteliales de la GM, provocando la contracción de estas células y, por consiguiente, la expulsión de la leche.

3. EYECCIÓN DE LA LECHE

La fisiología de la GM del búfalo difiere ligeramente de la del bovino, ya que el reflejo de eyección de la leche es similar en las búfalas y en las vacas lecheras (Thomas, 2004); el vaciado continuo y completo de

la GM depende directamente de las concentraciones elevadas de oxitocina durante todo el ordeño (Bruckmaier y Blum, 1998). Sin embargo, las diferencias morfológicas sugieren algunas peculiaridades de la bajada de la leche en las búfalas, que deben considerarse para mejorar la eficiencia del ordeño automático (*Bava et al.*, 2007). En las búfalas, se supone que el ordeño solo es posible después de la expulsión de la leche de la cisterna. Así que no se dispone de leche en la cisterna después de la canulación de los pezones (Alieve, 1970).

El área total de la cisterna y la fracción de la leche cisternal en las hembras búfalas es menor que en las vacas lecheras, ovejas y cabras, ya que la fracción cisternal representa en promedio, el 5% de la leche total, la cual disminuye durante la lactancia y aumenta con la edad del animal (Lind et al., 1997). El pequeño volumen de la cisterna de la búfala sugiere que es necesaria una estimulación más prolongada del pezón antes de la colocación de la copa para garantizar una correcta emisión de oxitocina y una buena bajada de leche. Además, los pezones de las búfalas son más largos y gruesos y tienen conductos de pezones más largos que los de las vacas lecheras (Thomas, 2004).

Se considera que los ordeños de las búfalas son lentos y fuertes, debido a su lento reflejo de expulsión de la leche y a su músculo esfínter del pezón duro; por eso son catalogados como ordeños difíciles (Borghese et al., 2007). En razón de esta característica, el tiempo de retraso entre la estimulación del pezón y la bajada de la leche requiere más tiempo en comparación con las vacas, con una duración de entre 2 y 3 minutos (Costa y Reinemann, 2004), sin

embargo, la eyección de la leche puede durar hasta 10 minutos con el influjo de la liberación de oxitocina y prolactina. Por otro lado, la presión intramamaria durante el ordeño es mayor en las búfalas; se ha registrado un aumento al comienzo del ordeño, y llega a ser aún más alta durante el pico del flujo, lo que coadyuva a la salida de la leche. Aunque la presión intramamaria varía entre individuo y ordeños, su nivel no es indicativo de una alta producción láctea (Borghese et al., 2007).

Como ya se mencionó, la oxitocina es la hormona más influyente en la eyección de la leche (Lollivier et al., 2002). Así que la expulsión continua de leche dependerá de las concentraciones elevadas del neuropéptido durante todo el ordeño. El registro de niveles basales en la concentración de oxitocina ha sido de 4.8 a 6.7 ng/l; en concentraciones máximas de 90 ng/l, pero durante la estimulación del pezón, el ordeño y la alimentación durante el ordeño se ha registrado valores de aproximadamente 30 ng/l. Aunque esta acción fisiológica está ligada al tiempo de ordeño y a los estímulos continuos de los nervios aferentes (Borghese et al., 2007). Por otro lado, es bien sabido que la administración de oxitocina antes del ordeño en grandes rebaños de búfalas se usa con frecuencia para lograr la bajada de la leche (Thomas, 2004).

Aunado a lo anterior, se ha aceptado que el reflejo de eyección de la leche tiene un efecto significativo sobre la calidad de la misma, obtenida durante el ordeño. Ya que durante el ordeño automático la concentración de grasa láctea aumenta con el tiempo; ya que la leche

extraída al final de un solo ordeño, correspondiente a la leche alveolar, es 2,5 a 5 veces más rica en grasa láctea en comparación con la leche cisternal (Lollivier et al., 2002).

4. ESTÍMULOS QUE ACTIVAN EL REFLEJO DE LA EYECCIÓN DE LA LECHE (BAJADA DE LA LECHE)

El reflejo neuroendocrino para la bajada de la leche ocurre en respuesta a una variedad de estímulos sensoriales, como la presencia de la cría, el amamantamiento, la estimulación manual (limpieza/desinfección), alimentación durante el ordeño y, de manera farmacológica, mediante la administración exógena de oxitocina (Lupoli et al., 2001). De tal manera que la estimulación del pezón antes del ordeño, ya sea manual o mediante la máquina de ordeño, provoca la inducción de la eyección de leche alveolar antes del inicio del ordeño (Bruckmaier y Blum, 1998; Bruckmaier y Hilger, 2001). Un retraso en la expulsión de leche puede tener efectos negativos sobre la eficiencia del ordeño, provocando un tiempo prolongado en el funcionamiento de la máquina (Bruckmaier y Blum, 1996).

Bruckmaier et al., (2001) señalan que el momento de la liberación de OT y la bajada de la leche antes del inicio de la extracción de la leche es crucial para el rendimiento posterior del ordeño. Por lo tanto, es importante reconocer el tiempo que transcurre desde el inicio de la estimulación de la GM hasta el inicio de la eyección de la leche, el cual suele durar de 1 a 2 minutos (Bruckmaier y Hilger, 2001).

Debido a la baja proporción de leche cisternal en las búfalas, se requiere de la estimulación de la GM previo al ordeño, esta acción permitirá recolectar la leche del compartimiento alveolar, en respuesta a la activación de la bajada de la leche, por lo cual es importante que las unidades de ordeño (copas o pezoneras) se coloquen después del inicio de la respuesta de eyección de la leche (Thomas *et al.*, 2004). Por otro lado, en las vacas se ha reportado una disminución en el tiempo de ordeño, originado por diferentes tipos de estímulos, que van desde la exclusiva presencia del ternero lactante hasta la alimentación de la vaca durante el ordeño, ya que mejora la liberación de OT (Borghese *et al.*, 2007).

De tal manera, la estimulación previa de 30 a 60 segundos antes del inicio de la extracción de la leche mejora las características de ordeño durante el siguiente ordeño automático (Weiss y Bruckmaier, 2005; Tančin *et al.*, 2006). Otros estudios señalan que la duración óptima de la pre-estimulación para el inicio de la eyección de la leche antes del inicio del ordeño es de hasta 90 segundos en las GM que contienen pequeñas cantidades de leche, mientras que en la GM bien llena 20 segundos son suficientes (Weiss y Bruckmaier, 2005). Por su parte, Kaskous y Bruckmaier, (2011) especifican que los tiempos de pre-estimulación y latencia dependerán del llenado de la GM.

Es importante resaltar que la estimulación requerida antes del ordeño, que permite un flujo de leche óptimo, puede verse afectado por la técnica de estimulación (Vetter *et al.*, 2014; Watters *et al.*, 2015), así

como por las características de raza (Rasmussen et al., 1992), la etapa de lactancia (Rasmussen et al., 1992; Bruckmaier y Blum, 1998; Watters et al., 2012), el grado relativo de llenado de la GM y el intervalo de ordeño (Bruckmaier y Hilger, 2001). Sin embargo, la mayoría de los estudios que investigan la estimulación previa al ordeño se han concentrado en describir los efectos de la estimulación antes del ordeño sobre la producción de leche, con la finalidad de mejorar la eficiencia y rentabilidad de la sala de ordeño, sin enfatizar en la salud de la GM y en el bienestar de los animales.

Estimulación visual-táctil

Desde hace más de 40 años se observó que la presencia de la cría lactante durante el ordeño potencia la secreción materna de oxitocina (Akers y Lefcourt, 1984). En países en desarrollo, como India y Pakistán, donde es frecuente el ordeño manual y la técnica basada en la presencia de los bucerros, que maman durante un tiempo limitado (2 min. aprox.) antes de cada ordeño para propiciar la bajada de la leche (Usmani et al., 1990). Sin embargo, otros autores, reportan que la presencia de la cría con su madre reduce la producción de leche (El-Sayed et al., 1991). En contraste, cuando los terneros y bucerros maman, el topeteo en la ubre aumenta la secreción de leche; en el ordeño manual un masaje en la ubre durante el ordeño imita este reflejo (Thomas, 2004).

Estimulación táctil

Se ha observado que la estimulación táctil (manual o mecánica) de la GM provoca una eficiente eyección láctea (Dzidic et al., 2004). Ya sea en un ordeño convencional o automático, la preparación de los pezones previo al ordeño consiste en asegurar la limpieza y desinfección de los pezones, así como la expulsión completa de la leche (Dzidic et al., 2002).

Thomas, (2004) reporta que las búfalas estimuladas manualmente un minuto previo al ordeño secretan una cantidad ligeramente mayor de OT que en las búfalas sin estimulación previa, y que la secreción de OT es aún mayor si se combina la estimulación manual con el suministro de alimentos durante el ordeño.

Merrill et al., (1987) señalaron que la bajada de la leche derivada del estímulo táctil de los pezones y la porción ventral de la ubre, se ha considerado especialmente eficaz, cuando ocurre sin la asistencia del ternero.

Rutina de ordeño

Partiendo de cierto grado de control ambiental, que se logra cuando los animales pueden predecir cambios en su entorno y acceder a recursos específicos cuando estos sean necesarios (Napolitano et al., 2009), se podrían suprimir estados emocionales como el miedo y la frustración (Polikarpus et al., 2014). Por ejemplo, la rutina de ordeño puede afectar el bienestar de las vacas y búfalas, y algunos autores han sugerido que la desviación del comportamiento preferido puede

causar estrés perjudicial durante el ordeño (Hopster et al., 1998; Munksgaard et al., 2001; Rushen et al., 2001). En esta rutina las búfalas son más sensibles a los estímulos de estrés que el ganado convencional (Thomas, 2004). Si los animales están con estrés agudo, se secreta adrenalina, y esto puede reducir el suministro de la oxitocina necesaria para la eyección de la leche. En las búfalas se ha reportado que incluso pequeños cambios en la rutina de ordeño pueden incomodar al animal y perturbar la eyección de la leche (Neglia et al., 2008). Estudios realizados por Polikarpus et al., (2014) sobre el comportamiento de las búfalas en el ordeño, observaron una fuerte consistencia en su rutina de ordeño, expresando preferencia por el orden de entrada a la sala y opciones de ubicación. Según Mellor et al., (2020), las condiciones físicas ambientales que producen estímulos positivos, frecuentemente observados son la provisión de espacio para la locomoción espontánea; el sustrato adecuado y el suelo bien drenado; el aire fresco que dispersa los contaminantes; los malos olores disipados por el aire fresco y la buena higiene; la disponibilidad efectiva de refugio y sombra; la implementación de medidas efectivas para el control del ruido; nivel tolerable de la intensidad de la luz; el mantenimiento de la variabilidad ambiental durante el día; previsibilidad lograda por la rutina establecida y condiciones propicias para que los animales puedan descansar y dormir.

Estímulo negativo: Inhibición de la eyección de la leche

Por otra parte, también existen estímulos o factores negativos que son comunes en las prácticas de manejo en los sistemas productivos lecheros, y que podrían llegar a afectar a los animales y, por consiguiente, a su productividad (Arnold et al., 2007; Brouček, 2014), debido al estrés generado (Lyles y Calvo-Lorenzo, 2014).

Los sonidos, comúnmente definidos como ruido, ya sea continuo o intermitente, proveniente de una variedad de fuentes en el entorno pueden considerarse como un factor estresante y logran desencadenar respuestas de estrés perjudicial atribuibles a estímulos dolorosos, afectando a varios órganos y provocando comportamientos agonísticos, amenazantes y agresivos (Brouček, 2014). En específico, en la ganadería lechera se han instrumentado algunos ensayos para evaluar el efecto del ruido en la respuesta comportamental de los animales, encontrando que las novillas expuestas al ruido de las instalaciones comerciales de ordeño muestran comportamientos de fuga, que se consideran como una respuesta de miedo (Arnold et al., 2007). Por ejemplo, el nivel de ruido en la producción ganadera, medido en las frecuencias de 25 a 35 kHz, es decir, rango audible para el ganado (Heffner y Heffner, 1993), se ha asociado, no solo con un aumento de la frecuencia respiratoria y cardíaca (Waynert et al., 1999), sino de igual forma con rasgos alterados de producción (Algers y Jensen, 1991). Brouček, (2014) resalta que las evidencias disponibles sugieren la alteración en el metabolismo de los carbohidratos en

rumiantes expuestos a una variedad de ruidos producidos por un motor industrial o vocalizaciones humanas (Brouček y Brouček, 2014).

La activación del sistema simpático-adrenal, en respuesta a varias condiciones estresantes agudas, las cuales pueden ser auditivas, visuales o físicas, puede inhibir en forma total o parcial el reflejo de eyección de la leche (Espinosa, 2011). Dicho retraimiento podría ser de origen central o periférico; el primero incluye interferencias en la liberación de oxitocina por la neurohipófisis, mientras que el periférico se produce cuando existen trastornos en la expulsión de leche de la glándula mamaria. La adrenalina provoca vasoconstricción de los vasos sanguíneos y capilares de la glándula mamaria, disminuyendo el aporte de la oxitocina; además, inhibe la contracción de las células mioepiteliales de los alveolos (Prosser et al., 1996).

Estos trastornos engloban diferentes mecanismos fisiológicos que impiden el acceso de la oxitocina a la glándula mamaria con el bloqueo de los receptores de esta hormona, o dificultan el descenso de la leche del compartimento alveolar a las cisternas durante el ordeño, como consecuencia de una alta concentración de oxitocina endógena (Bruckmaier et al., 1997). Otros estudios han registrado que los niveles productivos de los animales se pueden ver afectados por el ruido, debido a que los sistemas neuronales y neuroendocrinos al estar afectados comprometen la eficiencia de la alimentación (García et al., 2019). Los resultados de (Cwynar y Kolacz, 2011), denotan que los ruidos de 75, 85 y 95 dB con frecuencias de 2 kHz contribuyen a la reducción del apetito de los animales. Otros autores documentaron

una reducción de la producción de leche en vacas expuestas dos veces al día a niveles de ruido de entre 80 y 100 dB por más de una hora (Alger y Jensen, 1991). Las búfalas son sensibles a los cambios en su entorno, incluso a los más discretos. Los estímulos negativos están relacionados con la situación en que se encuentran los animales, en específico por las experiencias generadas por el procesamiento cerebral de entradas sensoriales que se originan principalmente desde el exterior del organismo y que reflejan la percepción del animal respecto a sus circunstancias externas. Las condiciones físicas ambientales que producen estímulos negativos, frecuentemente corresponden al confinamiento, encierro y hacinamiento; el sustrato inadecuado y el suelo mojado/sucio; los contaminantes del aire: NH₃, CO₂, polvo, humo; los olores desagradables, los extremos térmicos; el ruido fuerte y/o desagradable; la intensidad inapropiada de la luz; la monotonía: ambiental, física y de iluminación; los eventos impredecibles y los límites físicos para el descanso y para el sueño (Mellor et al., 2020). En el Cuadro 1, se presentan ejemplos que ilustran sobre las condiciones ambientales que producen tanto estímulos negativos como positivos.

CONDICIONES FÍSICAS AMBIENTALES QUE PRODUCEN ESTÍMULOS NEGATIVOS	CONDICIONES FÍSICAS AMBIENTALES QUE PRODUCEN ESTÍMULOS POSITIVOS
- Confinamiento, encierro y hacinamiento; - Sustrato inadecuado y el suelo mojado/sucio; - Contaminantes del aire: NH₃, CO₂, polvo, humo; - Olores desagradables; - Extremos térmicos; - Ruido fuerte y/o desagradable; - Intensidad inapropiada de la luz; - Monotonía: ambiental, física y de iluminación; - Eventos impredecibles - Límites físicos al descanso y al sueño	- Provisión de espacio para la locomoción espontánea; - Sustrato adecuado y suelo bien drenado; - Aire fresco que dispersa los contaminantes; - Malos olores disipados por aire fresco y buena higiene; - Disponibilidad efectiva de refugio y sombra; - Medidas efectivas para control del ruido; - Nivel tolerable de intensidad de luz; - Mantenimiento de la variabilidad ambiental durante el día; - Previsibilidad lograda por la rutina establecida - Condiciones para que los animales puedan descansar y dormir

Cuadro 1. Ejemplos de las condiciones físicas ambientales que producen estímulos positivos y negativos a las búfalas lecheras (Mellor et al., 2020).

La exposición continua a situaciones estresantes perjudiciales provoca la disminución en la producción de leche. Algunas de las causas inhibitorias de la eyección láctea son el amamantamiento de apoyo con crías extrañas, ordeño de hembras primíparas inmediatamente después del parto o recién destetadas, cambios de ordeñador, aplicación de rutinas inadecuadas, técnicas erróneas y equipos de ordeño en mal estado (Cavallina et al., 2008; Thomas et al., 2008).

El efecto que puede suscitar el ruido sobre la salud de la GM puede potenciarse con la constante exposición de los animales a fuentes de ruido elevado, debido al estrés fisiológico. Se ha comprobado que las respuestas fisiológicas que suceden por el ruido, por ejemplo el sonido proveniente del motor de un tractor (97 dB), aumenta significativamente la concentración de glucosa, los recuentos de

leucocitos y reduce el nivel de hemoglobina en la sangre (Brouček y Brouček, 2014).

En la figura 7, se representan algunos de los estímulos positivos y negativos que intervienen en el mecanismo de eyección de la leche.

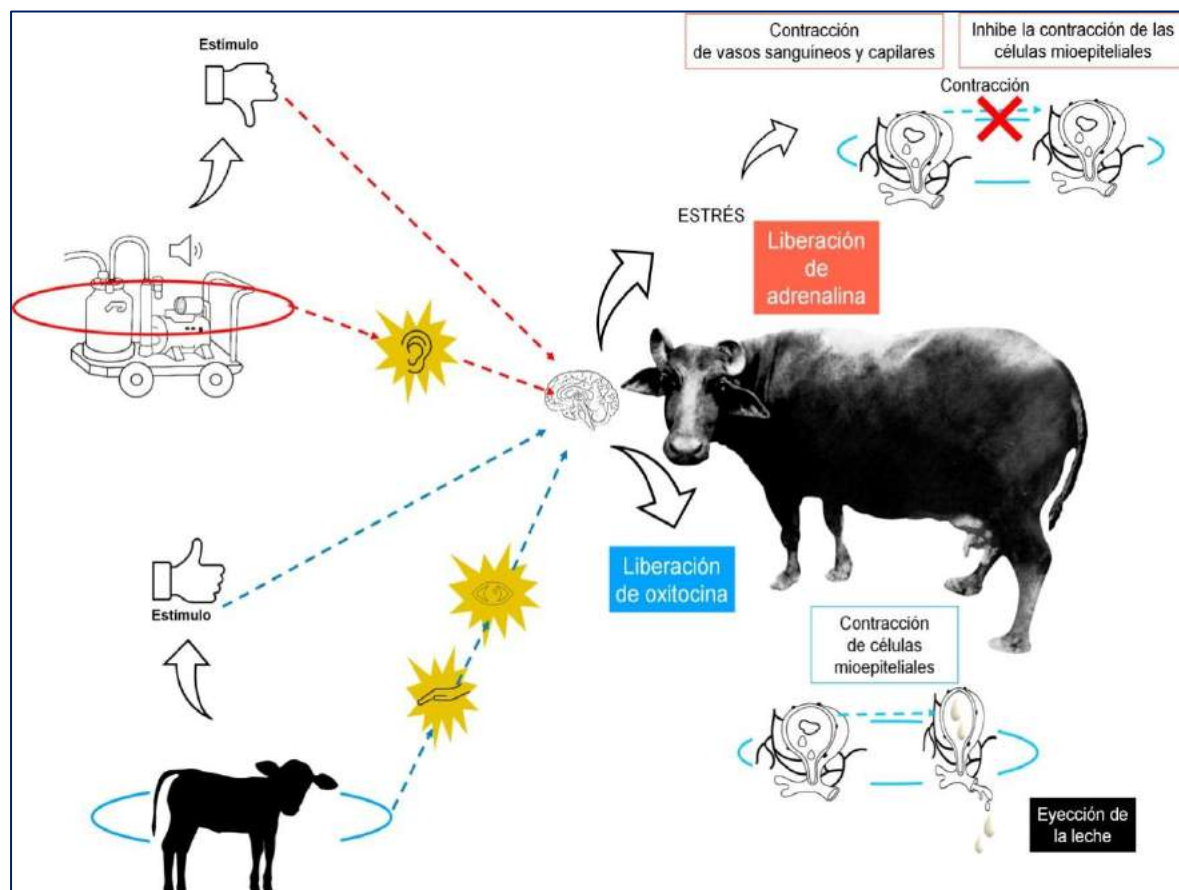


Figura 7. Estímulos positivos y negativos que intervienen en la eyección de la leche de búfala.

Además, los seres humanos también inciden en las circunstancias externas de los animales, y su comportamiento interactivo hacia los animales tiene el potencial de provocar efectos positivos que mejoran el bienestar o, por el contrario, efectos negativos que comprometen su nivel de bienestar (Mellor et al., 2020).

CONSIDERACIONES FINALES

La ubre de la búfala no es tan voluminosa como la de la vaca lechera, dado que presenta un menor desarrollo del complejo mamario, además, el pezón tiene el conducto y la cisterna más estrechos, es pigmentado y muy queratinizado lo que impide una gran invasión bacteriana, factores que facilitan la prevención de la infección intramamaria. El tejido conjuntivo elástico originado a partir de la túnica abdominal y conocido como el sistema suspensorio, de igual forma presenta un menor desarrollo en la búfala en comparación con la vaca lechera. El esfínter de músculo liso ubicado en el conducto papilar es significativamente más grueso en la búfala y se presenta de una manera más organizada, con vascularización e inervación más rica. Además, la cisterna láctea de la GM es muy pequeña, por lo cual no queda leche residual si se ordeña a fondo, como ocurre en el vacuno de leche. Estas diferencias anátomo-funcionales en la glándula mamaria de la búfala hacen que sintetizen menores cantidades de leche que la GM de la vaca lechera. En las búfalas, el 95% de la leche se almacena en el tejido secretor incluso después de un intervalo de ordeño de 10 a 12 horas. Por lo tanto, es imperativo que esta leche se elimine lo más ampliamente posible mediante la expulsión completa de la leche y con una técnica de ordeño eficaz. La eyección de leche es fundamental durante la lactancia, incluida la ordeña, porque permite obtener la fracción de leche alveolar, lo que resulta importante porque debido a la baja proporción de leche cisternal en las búfalas, se requiere de la estimulación de la glándula mamaria previo al ordeño,

ya que el ordeño manual induce la liberación de oxitocina de manera más pronunciada que el ordeño automático. Además, las búfalas requieren más tiempo de estimulación para la correcta eyección de la leche en comparación con las vacas lecheras, con una duración de entre 2 y 3 minutos, luego de lo cual, la eyección de la leche puede durar hasta 10 minutos debido a la influencia de la liberación de oxitocina y prolactina.

Los búfalos son sensibles a los cambios en el medio ambiente. Pueden retener la leche si se sienten incómodos en su entorno. Si los animales están estresados, asustados o con dolor, se libera adrenalina, hormona que provoca la constricción de los vasos sanguíneos, lo que dificulta el suministro de una cantidad suficiente de oxitocina a la GM y actúa directamente sobre las células mioepiteliales de los alvéolos bloqueando los receptores de oxitocina. Distintos factores ambientales actúan como estímulos positivos, provocando la liberación de oxitocina, entre los que se cuentan la presencia del bucerro lactante, la previa estimulación manual, la alimentación durante el ordeño y el ambiente aceptable, con buena iluminación, sin ruidos desagradables para los búfalos, entre otros. Además, es necesario disponer de personal capacitado y entrenado convenientemente en el conocimiento de las características anatómo-funcionales de la glándula mamaria de la búfala. La correcta implementación de estas medidas permite obtener y mantener óptimas condiciones en las interacciones ambientales y sociales,

promoviendo estímulos positivos que permitan la máxima eyección y el flujo constante en la extracción de la leche de las búfalas.

REFERENCIAS

- Akers, M.R., Lefcourt A.M., 1984. Effect of presence calf on milking-induced release of prolactin and oxytocin during early lactation of dairy cows. *J Dairy Sci.* 67; 115--122. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(84)81274-6
- Akers, R.M., 2017. A 100-Year Review: Mammary development and lactation. *J Dairy Sci.* 100, 10332–10352. doi:10.3168/jds.2017-12983
- Akhtar, N., Thakuria K., Dos D., 1999. Teat Measurements and Their Relation with Milk Yield in Swamp Buffaloes. *Indian Vet. J.* 76. 412–16.
- Algers, B., Jensen P., 1991. Teat Stimulation and Milk Production during Early Lactation in Sows: Effects of Continuous Noise. *Can. J. Anim. Sci.* 71;1, 51–60. doi:10.4141/cjas91-006.
- Alieve M.G., 1970. Physiology of machine milking of buffaloes. *Dairy Sci. Abstracts* 32, 329–332
- Amaral, F.R., Escrivão S.C., 2005. Aspectos Relacionados à Búfala Leiteira. *Rev Bra Reprod Anim.* 29;2,111–17.
- Arnold, N.A., Ng, K.T., Jongman, E.C., Hemsworth, P.H., 2007. The behavioural and physiological responses of dairy heifers to tape-recorded milking facility noise with and without a pre-treatment adaptation phase. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 106;1-

3, 13–25.doi:10.1016/j.applanim.2006.07.004

Ayadi, M., 2003. Evaluación de La Estructura Interna de La Ubre Mediante Ecografía y Efectos de La Frecuencia de Ordeño En Vacas Lecheras. Universidad Autónoma de Barcelona.

Banks, W.J., 1996. Sistema Integumentario. In *Histología Veterinaria Aplicada*, edited by W.J. Banks, 2^a ed., 427–63. Mexico: El Mundo Moderno.

Bava, L., Sandrucci A., Tamburini A., Zucali M., 2007. Milk Flow Traits of Buffalo Cows in Intensive Farming System. Ital J Anim Sci. 6; 500–502. doi.org/10.4081/ijas.2007.1s.500.

Bellmann, O. 1976.Hormonal Regulation of Lactation (Author's Transl). Klin Padiatr 188;5, 385–95.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/184342>

Bhuiyan, M.M., Islam M.R., Ali M.L., Hossain M.K., Kadir M.A., Lucky N.S., Das B.R., 2004. Importance of Mammary System Conformation Traits in Selecting Dairy Cows on Milk Yield in Bangladesh. J Biol Scie. 4, 100–102.doi:10.3923/jbs.2004.100.102.

Borghese, A., Rasmussen M., Thomas C.S., 2007. Milking Management of Dairy Buffalo. Ital J. Animl Sci 6, 39–50. doi:10.4081/ijas.2007.s2.39.

Bradley, G., 2014. Aspectos Anatómicos de La Glándula Mamaria. In *Fisiología Veterinaria*, 439–50. España: Elsevier Saunders.

Brennan, A.J., Sharp J.A., Lefevre C., Topcic D., Auguste A., Digby M., Nicholas K.R., 2007. The Tammar Wallaby and Fur Seal:

- Models to Examine Local Control of Lactation. *J. Dairy Sci.*, 90; E66–75. doi:10.3168/jds.2006-483.
- Brouček, J, Brouček J. 2014. Effect of Noise on Performance, Stress, and Behaviour of Animals. *Slovak J, Anim, Sci.* 47, 111–23.
- Bruckmaier, R.M., Wellnitz, O., Blum, J.W. 1997. Inhibition of milk ejection in cows by oxytocin receptor blockade, α -adrenergic receptor stimulation and in unfamiliar surroundings. *J. Dairy Res.* 6, 315–325. doi:10.1017/s002202999700232x.
- Bruckmaier, R.M., Wellnitz O., 2008. Induction of Milk Ejection and Milk Removal in Different Production Systems. *J. Anim. Sci.* 86, 15–20. doi:10.2527/jas.2007-0335.
- Bruckmaier, R.M., Blum J.W., 1998. Oxytocin Release and Milk Removal in Ruminants. *J. Dairy Sci.* 81, 939–49. doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75654-1.
- Bruckmaier, R.M., Macuhova J., Meyer H.H.D., 2001. Specific aspects of milk ejection in robotic milking: A Review. *Livest. Prod. Sci.* 72, 169–76. doi:10.1016/S0301-6226(01)00277-9.
- Bruckmaier, R.M., Blum J.W., 1998. Oxytocin Release and Milk Removal in Ruminants. *J. Dairy Sci.* 81, 939–49. /doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75654-1.
- Bruckmaier, R.M., Hilger M., 2001. Milk Ejection in Dairy Cows at Different Degrees of Udder Filling. *J Dairy Res.* 68. 369–76. <https://doi.org/10.1017/S0022029901005015>.
- Bruckmaier, R.M., Blum J.W., 1996. Simultaneous Recording of Oxytocin Release, Milk Ejection and Milk Flow during Milking

- of Dairy Cows with and without Prestimulation. J. Dairy Res. 63, 201–8. doi:10.1017/S0022029900031708.
- Bruckmaier R.M., Pfeilsticker H.U., Blum J.W., 1996. Milk Yield, Oxytocin and β -Endorphin Gradually Normalize during Repeated Milking in Unfamiliar Surroundings.” J. Dairy Res. 63, 191–200. doi:10.1017/S0022029900031691.
- Caja, G., Such X., Rovai M., Molina M.P., Fernández N., 2002. Aptitud Al Ordeño Mecánico y Morfología Mamaria En Ovino Lechero. In *Actas de La XXVII Jornadas Científicas y VI Jornadas Internacionales de La Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia*. 19–48. Valencia, España.
- Cavallina, R., Roncoroni, C., Campagna, M. C., Minero, M., Canali, E., 2008. Buffalo behavioural response to machine milking in early lactation. Ital. J. Anim. Sci., 7, 287–295. doi:10.4081/ijas.2008.287.
- Challana, A., Gupta A., Bansal N., Uppal V., 2014. Morphogenesis of Mammary Glands in Buffalo (*Bubalus Bubalis*). Anatomy Res. International 2014, 1–8. doi:10.1155/2014/687936.
- Chrystal, M.A., Seykora A.J., Hansen L.B., 1999. Heritabilities of Teat End Shape and Teat Diameter and Their Relationships with Somatic Cell Score. J. Dairy Sci. 82. 2017–22.
- Chrystal, M.A., Seykora A.J., Hansen L.B., Freeman A., Kelley D.H, 2001. Heritability of Teat-End Shape and the Relationship of Teat-End Shape with Somatic Cell Score for an Experimental Herd of Cows. J. Dairy Sci. 84,: 2549–54.

- Costa, D. A., Reinemann D.J., 2004. The purpose of the milking routine and comparative physiology of milk removal. Pages 189–197 in Proc. Natl. Mastitis Council Annu. Mtg., Charlotte, NC. National Mastitis Council, Verona, WI.
- Crowley, W.R., Armstrong W.E., 1992. Neurochemical Regulation of Oxytocin Secretion in Lactation*. *Endocrine Reviews* 13,: 33–65. doi:10.1210/edrv-13-1-33.
- Cwynar P., Kolacz R., 2011. The Effect of Sound Emission on Sheep Welfare. In Proc XV International Congress of the International Society for Animal Hygiene. Viena.
- Daniel, C.W., Smith G.H., 1999. The Mammary Gland: A Model for Development. *J. Mammary Gland Biol. Neoplasia* 4, 3–8.
- Drackley, J.K., 1999. Biology of dairy cows during the transition period: the Final Frontier? *J. Dairy Sci.* 82:2259–2273.
- Dzidic, A., Macuhova J., Bruckmaier R.M., 2004. Effects of Cleaning Duration and Water Temperature on Oxytocin Release and Milk Removal in an Automatic Milking System. *J. Dairy Sci.* 87, 4163–69. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73559-6.
- Dzidic, A., Weiss D., Bruckmaier R.M. 2002. Oxytocin Release and Milk Ejection Induced by Teat Cleaning in a Single Stall Automatic Milking System. *J. Dairy Sci.* 85, 8.
- El-Sayed, A.B., Shalash M.R., Nawito M.F., Estmat E.S. 1991. The Effect of Calf Contact on Milk Parameters. In Proc. Third World Buffalo Congress. Varna, Bulgaria.
- Espinosa-Núñez, Y., Capdevila-Valera J., Ponce-Ceballos P., Riera-

- Nieves M., Nieves-Crespo L., 2013. Relación entre morfología de la ubre y la producción y composición de la leche en búfalas. *Rev. Científica* 23, 220–25.
- Espinosa, N.Y., Hernández R., Rodríguez V.Y., 2006. Efecto Del Número de Lactancias En Los Parámetros Morfobiométricos de La Ubre, En La Producción y Composición de La Leche. *REDVET* 5,1–7.
- Espinosa, N.Y., 2011. “Asociación entre las características morfológicas de la ubre e indicadores del ordeño con la producción y composición de la leche en búfalas”. Universidad Agraria de la Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez.”
- García, F.E., Zuñiga A., Florez D.C., Cubides C.J.A., 2019. Niveles de ruido durante el ordeño de lecherías con sistemas mecánicos del trópico alto colombiano y su efecto en la calidad de la leche y el bienestar animal. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*. 30, 691–98. doi:10.15381/rivep.v30i2.14642.
- Heffner, H.E., Heffner R.S. 1993. Auditory Perception. In *Farm Animals and the Environment*, edited by Piggins D Phillips CJC, 159–84. CAB International.
- Herve, L., Quesnel H., Lollivier V., Boutinaud M., 2016. Regulation of Cell Number in the Mammary Gland by Controlling the Exfoliation Process in Milk in Ruminants. *J. Dairy Sci.* 99, 854–63. doi:10.3168/jds.2015-9964.
- Hopster, H., van der Werf J.T.N., Blokhuis H.J., 1998. Stress enhanced

reduction in peripheral blood lymphocyte numbers in dairy cows during endotoxin-induced mastitis. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 66:83–97.

Hurley, W.L., 1989. Mammary Gland Function During Involution. *J Dairy Sci.* 72, 1637–46. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030289792766>.

Janjanam, J., Jamwal, M., Singh, S., Kumar, S., Panigrahi, A. K., Hariprasad, G., Mohanty, A.K., 2013. Proteome analysis of functionally differentiated bovine (*Bos indicus*) mammary epithelial cells isolated from milk. *Proteomics*, 13, 3189–3204. doi:10.1002/pmic.201300031.

Jena, M.K., Jaswal S., Kumar S., Mohanty A.K., 2019. Molecular Mechanism of Mammary Gland Involution: An Update. *Developm Biol.* 445,: 145–55. doi:10.1016/j.ydbio.2018.11.002.

Jena, M.K., Mohanty A.K., 2017. “New insights of mammary gland during different stages of development. *Asian J. Pharm. Clin. Res.* 10, 35. doi:10.22159/ajpcr.2017.v10i11.20801.

Jena, M.K., Janjanam J., Naru J., Kumar S., Kumar S., Singh S., Mohapatra S.K., et al., 2015. DIGE Based Proteome Analysis of Mammary Gland Tissue in Water Buffalo (*Bubalus Bubalis*): Lactating Vis-a-Vis Heifer. *J. Proteomics*. 119, 100–111. /doi:10.1016/j.jprot.2015.01.018.

Kaskous, S., Bruckmaier R.M., 2011. Best combination of pre-

stimulation and latency period duration before cluster attachment for efficient oxytocin release and milk ejection in cows with low to high udder-filling levels. *J. Dairy Res.* 78, 97–104. /doi:10.1017/S0022029910000816.

Knight, C.H., Peaker M., 1982. Development of the Mammary Gland. *Reproduction.* 65, 521–36. doi:10.1530/jrf.0.0650521.

Köning H., Liebich H., 2005. *Anatomía de los Animales Domésticos*. 2ª ed. Médica Panamericana, Madrid, España.

Lind O., Ranade K., Thomas C.S., 1997. Experiences from machine milking of buffaloes. In *Proceedings of 5th World Buffalo Congress*, Caserta, Italy, October 13–16 pp. 916–917 (Eds A Borghese, S Failla & VL Barile).

Lollivier, V., Guinard-Flament J., Ollivier-Bousquet M., Marnet P.G., 2002. Oxytocin and Milk Removal: Two Important Sources of Variation in Milk Production and Milk Quality during and between Milkings. *Rep. Nutrition Develop.* 42, 173–86. doi:10.1051/rnd:2002016.

Lupoli, B., Johansson, B., Uvnäs-Moberg, K., Svennersten-Sjaunja, K., 2001. Effect of Suckling on the Release of Oxytocin, Prolactin, Cortisol, Gastrin, Cholecystokinin, Somatostatin and Insulin in Dairy Cows and Their Calves. *J. Dairy Res.* 68, 175–87. doi:10.1017/S0022029901004721.

Lyles, J.L., Calvo-Lorenzo M.S., 2014. BILL E. Kunkle Interdisciplinary Beef Symposium: Practical Developments in Managing Animal Welfare in Beef Cattle: What Does the Future

- Hold?1.” J. Anim. Sci. 92, 5334–44. doi:10.2527/jas.2014-8149.
- Macias, H., Hinck L. 2012. Mammary Gland Development. Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biol. 1, 533–57. doi:10.1002/wdev.35.
- Matsuda, M., Imaoka T., Vomachka A.J., Gudelsky G.A., Hou Z., Mistry M., Bailey J.P., *et al.*, 2004. Serotonin Regulates Mammary Gland Development via an Autocrine-Paracrine Loop. Dev Cell. 6, 193–203. doi:10.1016/S1534-5807(04)00022-X.
- McManaman J.L.; Neville M.C., 2003. *Mammary physiology and milk secretion.* 55(5), 629–641. doi:10.1016/s0169-409x(03)00033-4
- Mellor D.J., Beausoleil N.J., Littlewood K.E., McLean A.N., McGreevy P.D., Jones B., Wilkins C., 2020. The 2020 Five Domains Model: Including Human – Animal Interactions in Assessments of Animal Welfare. Animals. 10, 1870. doi:10.3390/ani10101870
- Merrill, W.G, Sagi R., Petersson L.G., Bui T.V., Erb H.N., Galton D.M., 1987. Effects of Premilking Stimulation on Complete Lactation Milk Yield and Milking Performance. *J Dairy Sci.* 1676–84.
- Munksgaard L.; DePassillé A.M.; Rushen J.; Herskin M.S.; Kristensen A.M., 2001. *Dairy cows’ fear of people: social learning, milk yield and behaviour at milking.* , 73(1), 15–26. doi:10.1016/s0168-1591(01)00119-8

- Napolitano, F., Knierim U., Grass F., De Rosa G., 2009. Positive indicators of cattle welfare and their applicability to on-farm protocols. Ital. J. Anim. Sci. 8, 355–65. doi:10.4081/ijas.2009.s1.355.
- Neglia, G., Saltalamacchia F., Thomas C.S., Rasmussen D.M., 2008. Milking Management of Dairy Buffaloes. Milking Routines. Bulletin of the International Dairy Federation 426: 69–83.
- Oftedal, O.T., 2002. The Mammary Gland and Its Origin during Synapsid Evolution. J Mammary Gland Biol Neoplasia. 7, 225–52. doi:10.1023/A:1022896515287.
- Ozenc, E., Bozkurt, M.F., Yazici, E., Seker, E., Bayraktaroglu, A.G., Ozcinar, U., Dogan, N., 2020. Teat characteristics in relation to animal temperament during milking in buffaloes, and comparison of buffalo and cow teat morphology. Reprod. Domest. Anim. 55,559-566. doi:10.1111/rda.13650
- Parekh, B.H., 2002. Gross and Microscopic Studies on the Udder of Lactating and Non Lactating, Non Pregnant Adult Buffaloes (*Bubalus Bubalis*). Gujarat Agricultural University, Anand. India.
- Patel, A.K., Nondasana K.N., Ramani U., Goriya H.V., Panchal K.M. 2007. Comparative Histology of Mammary Gland in Heifer, Pregnant, Lactating and Dry Buffaloes. Indian J. Vet. Anatomy. 19, 71–78.
- Peaker M., Wilde C.J., Knight C.H., 1998. Local Control of the Mammary Gland. Biochem. Soc. Symp. 63, 71–79.

- Polikarpus, A., Grasso F., Pacelli C., Napolitano F., De Rosa G. 2014. Milking Behaviour of Buffalo Cows: Entrance Order and Side Preference in the Milking Parlour. *J. Dairy Res.* 81,: 24–29. doi:10.1017/S0022029913000587.
- Prasad, R.M.V., Laxmi, P.J., 2014. Studies of the temperament of Murrah buffaloes with various udder and teat shapes and its effect on milk yield. *Buffalo Bulletin.* 33, 170–176.
- Prosser, C.G., Davis, S.R., Farr, V.C., Lacasse, P., 1996. Regulation of Blood Flow in the Mammary Microvasculature. *J Dairy Sci.* 79(7), 1184–1197. doi:10.3168/jds.s0022-0302(96)76472-x
- Rao, A.V.N., Murthy T.S., 1991. Studies on Morphological Udder and Characteristics of Riverine Buffaloes in Andhara Pradesh. *Buffalo Bulletin.* 10, 18–22.
- Rasmussen, M.D., Frimer E.S., Galton D.M., Petersson L.G., 1992. The Influence of Premilking Teat Preparation and Attachment Delay on Milk Yield and Milking Performance. *J. Dairy Sci.* 75, 2131–41. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)77973-9.
- Riera-Nieves, M., Rodríguez-Márquez J.M, Perozo-Prieto E., Rizzi R., Cefis A., 2006. Comparación de Las Características Morfológicas de Los Pezones En Tres Razas Lecheras. *Rev. Cient. (Maracaibo)* 16, 315–24.
- Rushen J., Munksgaard L. , Marnet P.G., De Passillé A.M., 2001. Human contact and the effects of acute stress on cows at milking *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 73 , 1-14.
- Sepúlveda-Varas P.; Wittwer Menge F.; Meléndez P., 2007. Período de

Transición: Importancia En La Salud y Bienestar de Vacas
Lecheras. Valdivia Chile: Ediciones Universidad Austral de
Chile.

Sisson S., Grosman J. D., 1982. [Anatomía de los animales domésticos](#).

[Tomo I](#). 5th Edition. Authors: Septimus Sisson, James
D. Grossman. Elsevier Masson. Ohio, USA.

Schmidt, G.H., Van Vleck L.D., 1974. Principles of Dairy Feeding. W.H.
Freeman and Company, San Francisco. P. 225.

Stefanon, B., Colitti M., Gabai G., Knight C.H., Wilde C.J., 2002.
Mammary Apoptosis and Lactation Persistency in Dairy
Animals. J Dairy Res 69, 37–52.
doi:10.1017/S0022029901005246.

Tančin, V., Ipema B., Hogewerf P., Mačuhová J., 2006. Sources of
Variation in Milk Flow Characteristics at Udder and Quarter
Levels. J. Dairy Sci. 89, 978–88. doi:10.3168/jds.S0022-
0302(06)72163-4.

Thomas, C.S., Svennersten-Sjaunja K., Bhosrekar M.R., Bruckmaier
R.M., 2004. Mammary Cisternal Size, Cisternal Milk and Milk
Ejection in Murrah Buffaloes. J Dairy Res. 71, 162–68.
doi:10.1017/S0022029904000081.

Thomas, C.S., 2004. “Milking Management of Dairy Buffaloes.”
Swedish University of Agricultural Sciences.

Thomas, C.S., Borghese A., Cuscuná F.P., 2008. Milking Management of
Dairy Buffaloes. Bulletin of the International Dairy
Federation, 2008.

- Uppal, S.K., Singh K.S., Roy D.C., Nauriyal D.C., Bansal B.K., 1994. Natural Defense Mechanism against Mastitis: A comparative histomorphology of buffalo and cow teat canal. *Buffalo Journal* 10, 125–31.
- Usmani, R.H., Dailey RA, Inskeep E.K., 1990. Effects of Limited Suckling and Varying Prepartum Nutrition on Postpartum Reproductive Traits of Milked Buffaloes. *J. Dairy Sci.* 73, 1564–70.
- Vetter, A., van Dorland H.A., Youssef M., Bruckmaier R.M., 2014. Effects of a latency period between pre-stimulation and teat cup attachment and periodic vacuum reduction on milking characteristics and teat condition in dairy cows. *J Dairy Res* 81, 107–12. doi:10.1017/S0022029913000617.
- Watters, R.D., Schuring N., Erb H.N., Schukken Y.H., Galton D.M., 2012. The Effect of Premilking Udder Preparation on Holstein Cows Milked 3 Times Daily. *J. Dairy Sci.* 95. 1170–76. doi:10.3168/jds.2011-4388.
- Watters, R.D., Bruckmaier R.M., Crawford H.M., Schuring N., Schukken Y.H., Galton D.M., 2015. The effect of manual and mechanical stimulation on oxytocin release and milking characteristics in holstein cows milked 3 times daily. *J. Dairy Sci.* 98, 1721–29. doi:10.3168/jds.2014-8335.
- Waynert, D.F., Stookey J.M., Schwartzkopf-Genswein K.S., Watts J.M., Waltz C.S., 1999. The Response of Beef Cattle to Noise during Handling. *Appl Anim Behav Sci.* 62, 27–42.

doi:10.1016/S0168-1591(98)00211-1.

Weaver, S.R., Hernández L.L., 2016. Autocrine-Paracrine Regulation of the Mammary Gland. *J Dairy Sci.* 99, 842–53. doi:10.3168/jds.2015-9828.

Weiss, D., Bruckmaier R.M., 2005. Optimization of Individual Prestimulation in Dairy Cows.” *J Dairy Sci.* 88, 137–47. doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)72671-0.

Wu, J.J., Song L.J., Wu F.J., Liang X.W., Yang B.Z., Wathes D.C., Pollott G.E., et al. 2013. Investigation of transferability of BovineSNP50 BeadChip from cattle to water buffalo for genome wide association study. *Mol Bio Rep.* 40, 743–50. doi:10.1007/s11033-012-1932-1.

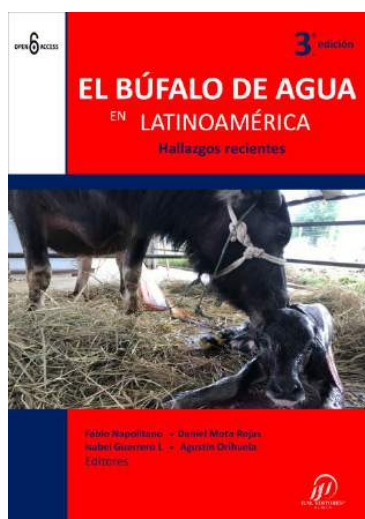


CAPÍTULO 19

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE ORDEÑO MANUAL Y MECÁNICO:

PRODUCTIVIDAD, BIENESTAR ANIMAL Y RENTABILIDAD

Aldo Bertoni, Gabriela Marcela Martínez, Fabio Napolitano, Adolfo Álvarez-Macías, Marcelo Daniel Ghezzi, Patricia Mora-Medina, Ada Braghieri, Isabel Guerrero-Legarreta, Rosy Cruz-Monterrosa, Adolfo. A. Rayas-Amor y Daniel Mota-Rojas



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 19

Ventajas y desventajas de los sistemas de ordeño manual y mecánico: productividad, bienestar animal y rentabilidad

Aldo Bertoni¹, Gabriela Marcela Martínez², Fabio Napolitano³, Adolfo Álvarez-Macías¹, Marcelo Daniel Ghezzi⁴, Rosy G. Cruz-Monterrosa⁵, Patricia Mora-Medina⁶, Ada Braghieri³, Isabel Guerrero-Legarreta⁷, Adolfo. A. Rayas-Amor⁵ y Daniel Mota-Rojas¹

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México.

²Manejo de Sistemas Ganaderos, Universidad Nacional de Salta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en la Estación Experimental de Salta. Argentina.

³Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

⁴Área Bienestar Animal-Producción Bovino. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

⁵Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana-Campus Lerma. Lerma, México.

⁶Departamento de Ciencias Pecuarias. Universidad Nacional Autónoma de México. FESC. México.

⁷Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-I. Ciudad de México. México.

INTRODUCCIÓN

La leche se destaca como un alimento rico y de alto valor biológico gracias a su aporte de energía y de minerales (Estévez et al., 2011; Park, 2013). Sus características nutricionales resultan ser benéficas en etapas clave del desarrollo humano (Ortiz et al., 2014). Para preservar estas características es necesario que la leche sea obtenida bajo estrictas medidas de higiene, que además permitan garantizar su inocuidad, independientemente del tipo de unidades de producción (UP) de donde pueda provenir el producto, con calidad nutrimental y

ética. En efecto, las UP son heterogéneas en función de las características socioeconómicas de los productores, del nivel de incorporación de tecnología, en especial del método de ordeño, de los modelos de gestión (Gargiulo et al., 2020) y, en última instancia, del nivel de rentabilidad de cada una (Ortiz et al., 2014).

El proceso de ordeño ha evolucionado extraordinariamente, sin embargo, todavía se pueden agrupar en métodos básicos: manual o mecánico. El primero implica la presión manual sobre las glándulas mamarias (GM), generalmente asociado a las UP con escaso nivel de infraestructura y equipo, mientras que el mecánico incluye instalaciones y equipos muy variados, desde las más rudimentarias de madera y adaptadas, hasta sistemas totalmente robotizados (Bonifaz y De Jesús, 2011).

Para seleccionar y adoptar un sistema de ordeño resulta imprescindible conocer sus diferencias respecto a sus características, costos y accesibilidad para que los productores opten por el más idóneo para su UP (Napolitano et al., 2019; Napolitano et al., 2020a; Napolitano et al., 2020b).

El reflejo neuroendocrino para la bajada de la leche ocurre en respuesta a una variedad de estímulos sensoriales, como la presencia de la cría, el amamantamiento, la estimulación manual (limpieza/desinfección), alimentación durante el ordeño y, de manera farmacológica, mediante la administración exógena de oxitocina (OT),

(Lupoli et al., 2001). De tal manera que la estimulación del pezón antes del ordeño, ya sea manual o mediante la máquina de ordeño, provoca la inducción de la eyección de leche alveolar antes del inicio del ordeño (Bruckmaier y Blum, 1998; Bruckmaier y Hilger, 2001). Un retraso en la expulsión de leche puede tener efectos negativos sobre la eficiencia del ordeño, provocando un tiempo prolongado en el funcionamiento de la máquina (Bruckmaier y Blum, 1996). Debido a la baja proporción de leche cisternal en las búfalas, se requiere de la estimulación de la GM previo al ordeño, esta acción permitirá recolectar la leche del compartimiento alveolar, en respuesta a la activación de la bajada de la leche, por lo cual es importante que las unidades de ordeño (copas o pezoneras) se coloquen después del inicio de la respuesta de eyección de la leche (Thomas et al., 2004). Por otro lado, en las vacas se ha reportado una disminución en el tiempo de ordeño, originado por diferentes tipos de estímulos, que van desde la exclusiva presencia del ternero lactante hasta la alimentación de la vaca durante el ordeño, ya que mejora la liberación de OT (Borghese et al., 2007).

Es importante resaltar que la estimulación requerida antes del ordeño, que permite un flujo de leche óptimo, puede verse afectado por la técnica de estimulación (Vetter et al., 2014; Watters et al., 2015), así como por las características de la raza (Rasmussen et al., 1992), la etapa de lactancia (Watters et al., 2012), el grado relativo de llenado de la GM y el intervalo de ordeño (Bruckmaier y Hilger, 2001).

Por ello, el objetivo del presente capítulo es mostrar los principales sistemas de ordeña, destacando sus ventajas y desventajas, así como sus efectos sobre la productividad, higiene, bienestar animal y rentabilidad que auxilien en la toma de decisión para adaptar o, en su caso, migrar hacia algún otro sistema en particular.

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE Y TIPOS DE ORDEÑOS

El tipo de sistema de ordeño está íntimamente asociado con las posibilidades de cada productor para invertir, elevar o no el nivel tecnológico de la UP y, por ende, con el grado de intensificación y especialización que adopte, según los fines zootécnicos que persiga (Castro et al., 2012; Mota-Rojas et al., 2019a,b); además, es relevante el tipo de cliente a quien venda su leche o derivados y las exigencias de éste en cuanto a su calidad del producto recibido. Independientemente del sistema de ordeño (manual o mecánico) (**Figura 1**), para la extracción de leche en primera instancia se debe estimular la GM de la hembra lactante provocando la contracción de células mioepiteliales como respuesta a la oxitocina, seguido de la eyección y, posteriormente, el vaciado de la leche ubicada tanto en la cisterna, como en la fracción alveolar del complejo mamario (Espinosa et al., 2011; Bertoni et al., 2019a,b). En la ordeña mecánica este proceso se realiza a través de bombas de vacío y pulsadores que se han venido sofisticando progresivamente (Romero et al., 2020).

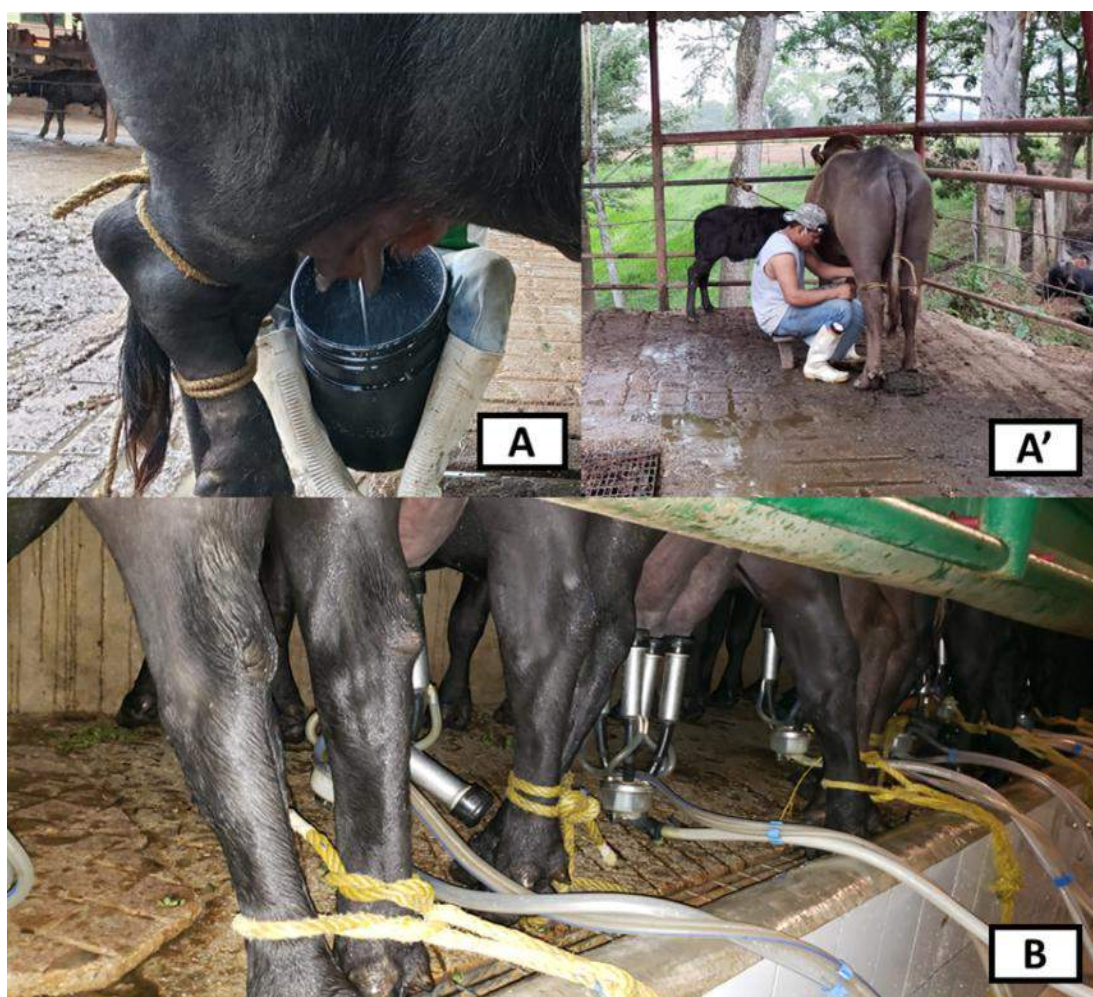


Figura 1. Sistema de ordeño manual y mecánico convencional en búfalos de agua. A. Vista lateral del proceso de ordeño manual. **A'.** Vista caudal del inicio del proceso del ordeño y el uso del becerro como estímulo sensorial táctil para la eyección de leche. **B** Proceso de ordeño mecánico convencional.

Como se muestra en la **Figura 2**, los sistemas de producción de subsistencia, familiares o de doble propósito (leche y carne), principalmente utilizan sistemas de ordeño manual, conduciendo a los animales al área de ordeño y manualmente se provoca la eyección de leche por el personal, a menudo acompañado de la cría y en otros

casos mediante la aplicación de oxitocina endógena, aunque estas prácticas pueden combinarse (Espinosa et al., 2011; Bertoni et al., 2019a,b). Para el vaciado alveolar se procede presionando de forma descendente la GM de la hembra lactante (Dong et al., 2003). La leche alveolar, sin embargo, está disponible solamente si es eyectada activamente y acompañada de la presión efectuada a partir de sistemas manuales o mecanizados (Espinosa et al., 2011).

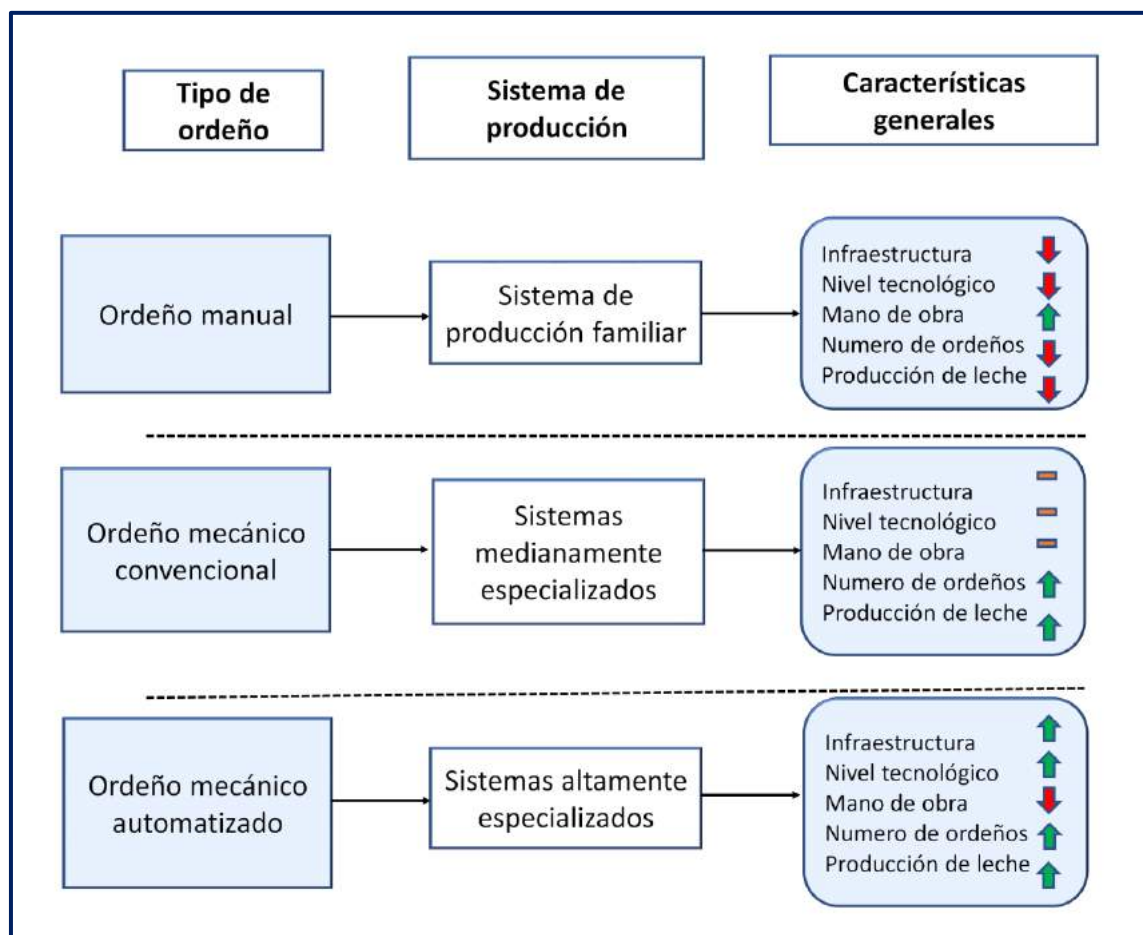


Figura 2. Características generales de los diferentes tipos de ordeño

En los sistemas de producción intensivos, que funcionan bajo el denominado modelo Holstein¹, se utilizan sistemas de ordeño mecanizados: convencionales y automatizados, que poseen pezoneras, pulsador y bombas de vacío, sin embargo; los automatizados adicionalmente incorporan equipos con dispositivos de limpieza de pezones, identificación electrónica, ordeño y sensores del control computarizados (Romero et al., 2020). Los dispositivos de control electrónico miden la conductividad eléctrica para detectar anomalías en la calidad de la leche para cumplir con los criterios que exige la normatividad y los clientes (de Koning y Rodenburg, 2004). Además, se incentiva a las hembras a ingresar voluntariamente a partir del suministro de concentrados en los comederos ubicados en la zona de ordeño, por arreadores mecánicos o mediante rutinas de animales líderes (de Koning y Rodenburg, 2004); la estimulación, colocación, extracción de leche y retiro de las pezoneras se efectúa de forma automática (Rodenburg, 2017). En paralelo, las prácticas de higiene son ejecutadas por los trabajadores (López, 2017).

A medida que las unidades de producción aumentan el grado de especialización, se incluyen sistemas de ordeño mecánico con intervención de mano de obra complementaria o sistemas mecánicos automatizados que limitan el concepto de mano de obra pero el

¹ Sistemas de leche basado en vacas Holstein, bajo alimentación artificial basada en granos y concentrados, con amplia infraestructura y equipo en cuanto a sala de ordeña, tanques enfriadores, sistemas de gestión computarizado, inseminación artificial o transferencia de embriones, uso frecuente de inseminación artificial (en la actualidad priorizando el semen sexado) y, en los últimos años, con apoyo de robots que realizan parte de las funciones esenciales como la propia ordeña. Ver una aproximación al respecto con Camacho et al. (2017).

personal restante debe ser calificado, además, maximizan la eficiencia, aumentan la producción y la calidad de la leche y posibilitan que el ordeño se realice incluso más de dos veces al día (Castro et al., 2012; Bach y Cabrera, 2017), aunque ello requiere de niveles de inversión que están al alcance de un restringido grupo de productores.

VÍNCULOS CON LA PRODUCTIVIDAD

En la mayoría de los sistemas de producción, el objetivo principal es obtener la mayor cantidad de leche, con la mejor calidad posible. Para ello, intervienen diferentes factores, entre los que se destaca la frecuencia de ordeño, que influye en el nivel de productividad (Andrade, 2016). La mayor frecuencia de ordeño se correlaciona positivamente con la productividad (de Koning y Rodenburg, 2004).

En el sistema manual, los animales se ordeñan una vez por día, sin embargo, en ordeños mecanizados convencionales son hasta tres veces al día y en ordeños mecánicos automatizados pueden ordeñarse cuatro o más veces por día (Melin et al., 2005), incrementando la producción láctea entre 6 y 25%, al medir lactancias completas (López, 2017). En vacas Holstein, Andrade (2016), detectó que las vacas bajo tres ordeños diarios produjeron 10.4% más leche, en comparación con las de doble ordeño; mientras que las hembras con un ordeño diario

presentaron un 23% menos de producción respecto a las de dos ordeños.

Por otro lado, es frecuente que el precio que se paga por la leche sea compuesto, es decir, después de un precio base, se suelen establecer incentivos por contenido adicional de grasa, proteína y la menor carga microbiana, entre otros aspectos. Al medir Kg/día de proteína y grasa, Andrade (2016), encontró menor concentración en proteína y grasa en vacas ordeñadas con menor frecuencia, bajo un ordeño en comparación con las que recibían dos y tres por día. No obstante, la grasa suele ser mayor en ordeños con menor frecuencia, si se analiza de manera porcentual por kilogramo de leche producida, aunque en ello pueden influir otros aspectos, como la alimentación (Méndez-Martínez et al., 2014), estado de salud y edad de las hembras, entre otros. Por ello, junto con la productividad, una ordeña eficiente también favorece el acceso a los mercados más rentables (Wade et al., 2004).

Para adoptar algún tipo de ordeño, se consideran los niveles de productividad láctea, rentabilidad, disponibilidad de mano de obra e, incluso, el canal comercial en el que incursione cada productor. Al mismo tiempo, es necesario estimar los costos de inversión y de operación que se generan en cada caso, así como evaluar la

coherencia con el nivel tecnológico global de cada unidad de producción.

LA SALUD DE LA GLÁNDULA MAMARIA COMO ELEMENTO CLAVE DE LA ORDEÑA

En cualquier método de ordeño se pueden causar alteraciones circulatorias, aunque de corta duración, como congestión y/o edema provocando excesiva acumulación de los fluidos en el tejido del pezón, produciendo un aumento en el grosor de la pared y en la temperatura de la piel (Hamann et al., 1994), por lo cual, es conveniente apegarse a las buenas prácticas de higiene para evitar o, de ser el caso, atenuar los problemas de mastitis.

Desde el punto de vista higiénico-sanitario, en la **Figura 3**, se muestra el proceso general de ordeño, en el que se aprecia el método de extracción de leche en el ganado, enfatizando en la etapa de estimulación para la eyección de la leche y su repercusión en el estado de salud de la GM y en la calidad bacteriológica de la leche obtenida (Ruiz et al., 2011), por los procedimientos de higienización de los pezones y de los utensilios empleados.

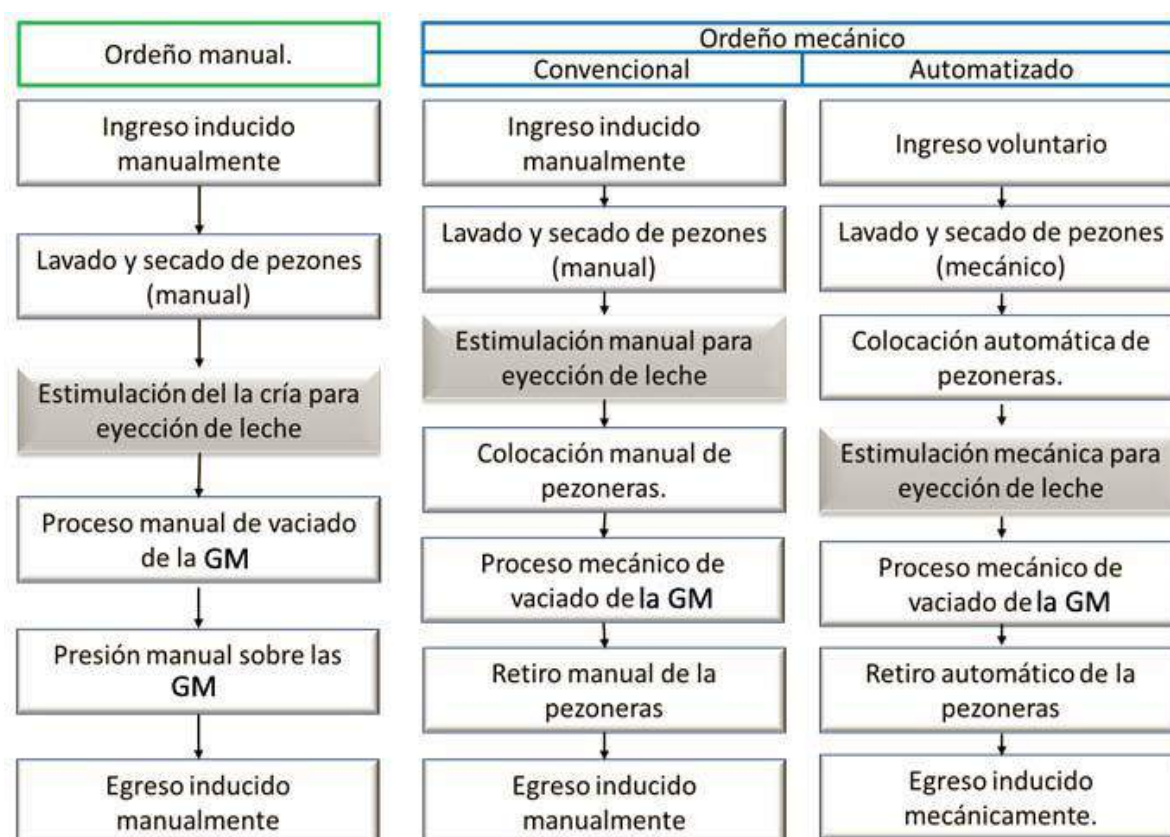


Figura 3. Proceso general del ordeño manual y mecánico (convencional y automatizado). GM = Glándula mamaria.

A pesar de los métodos modernos establecidos para el control de la salud de la GM, la mastitis bovina, es una de las mayores causas de pérdida económica en la producción lechera, sufrimiento animal por dolor, efectos negativos en la calidad e higiene del producto y, por consecuencia, en la rentabilidad de las UP (Ávila et al., 2002).

Las rutinas de ordeño tienen influencia en la aparición de infecciones intramamarias, prevalencia de mastitis subclínica y clínica, conteo total de microorganismos mesófilos aerobios y coliformes, así como en la

presencia de microorganismos patógenos aislados (Ávila et al., 2002; Faría et al., 2005; Ruiz et al., 2011).

El contenido de células somáticas en la leche, se relaciona con la inflamación de la glándula mamaria, producto de un golpe, desarrollo de patógenos o a un mal manejo del ordeño, instalaciones no adecuadas y al proceso en general del ordeño (Philpoty Nickerson, 2000) que se realiza en los distintos tambos o establos.

La mastitis bovina es el principal problema de la ganadería lechera a nivel mundial y se considera el mayor problema del sector lácteo incluyendo la industria (Bray y Broaddus, 2006). Es de gran importancia el correcto manejo de los pezones ya que su sellado post-ordeño es la práctica más simple, efectiva y económica para la prevención de nuevas infecciones intramamarias en vacas en lactación, las infecciones pueden reducirse de un 50 hasta 90% desinfectando correctamente los pezones (Farnsworth, 1980).

Para poder manejar en forma adecuada y eficiente un rodeo o establo lechero y a su vez que cada animal pueda ser estimulado y ordeñado correctamente es necesario cumplir con las distintas etapas de la rutina de ordeño. Esta serie de pasos deben reiterarse en cada etapa, sin demoras pero de manera tranquila, suave, lenta y ordenada al ritmo del último animal sin que se produzcan multitudes, aglomeraciones y hacinamiento, tanto en los pasillos como en el acceso al corral (Philpot y Nickerson, 2000). En la finca o hacienda se debe evitar la presencia de perros, gritos y golpes. Asimismo un

manejo inadecuado durante el traslado de los animales puede producir graves consecuencias debidas a los golpes, las lesiones en las GM y en los miembros torácicos y pélvicos.

En los animales criollos de doble propósito se ha detectado la presencia de mastitis subclínica en los sistemas de ordeño manual y mecánico; sin embargo, se observó mayor frecuencia de mastitis en animales ordeñados de forma mecánica (Ávila et al., 2002; Faría et al., 2005), coincidiendo con los hallazgos de Ruíz et al. (2011), que realizaron un estudio en bovinos de diferentes edades y razas distribuidos en ordeño manual y mecánico: hallaron menor frecuencia de mastitis en el ordeño manual ($P<0.05$).

No obstante, se sugiere el monitoreo continuo del ordeño mecánico automatizado, ya que ayuda al operador a identificar los problemas de sobre-ordeño o mal funcionamiento del equipo o ambos y por consiguiente de mastitis (Kathum et al., 2018); sin embargo, independientemente del método de ordeño, se debe valorar el impacto de las prácticas de higiene en el material, equipo y su calibración, tipo de materiales, capacitación del personal, gestión y monitoreo del proceso de ordeño respecto al control de la salud de la GM (Wandurraga, 2019).

BIENESTAR ANIMAL

Desde hace más de 40 años se ha observado que la presencia de la cría lactante durante el ordeño potencia la secreción materna de oxitocina (Akers y Lefcourt, 1984). En países en desarrollo, como India y Pakistán, donde es frecuente el ordeño manual y la técnica basada en la presencia de los becerros, que maman durante un tiempo limitado (2 min. aprox.) antes de cada ordeño para propiciar la bajada de la leche de la búfala (Usmani et al., 1990). Sin embargo, otros autores, reportan que la presencia de la cría con su madre reduce la producción de leche (El-Sayed et al., 1991). En contraste, cuando los terneros y becerros maman, el topeteo en la GM aumenta la secreción de leche; en el ordeño manual un masaje en la GM durante el ordeño imita este reflejo en la búfala de agua (Thomas, 2004). El ordeño manual y mecánico implican varios elementos físicos y conductuales que pueden derivar en variaciones en el rendimiento de leche (Polikarpus et al., 2014) y sobre el bienestar de las hembras lecheras, tales como la manipulación del ganado, la interacción humano-animal y el diseño de la granja e instalaciones (Cavallina et al., 2008; Polikarpus et al., 2014; Kovács et al., 2013; Orihuela et al., 2018; Mota-Rojas et al., 2019a,b; Mota-Rojas et al., 2020).

Durante el ordeño automático de las búfalas debido a la pequeña fracción de leche en la cisterna de la glándula, la colocación del equipo de ordeño antes de la expulsión de la leche podría conducir a una

mayor introducción del pezón en la pezonera y predisponer al ordeño con pezones vacíos (Thomas, 2008). Para prevenir la posible irritación y el estrés perjudicial debido al ordeño a máquina sin flujo de leche a alto vacío, la extracción de leche debe sincronizarse con la eyección de la leche. Por tanto, es necesario mejorar la configuración del ordeño automático para las búfalas y desarrollar normas optimizadas que se adapten a las características anatómicas y fisiológicas propias de éstas. La formación de los ordeñadores y los usuarios de las máquinas de ordeño también son importantes para mejorar la salud de la GM y el bienestar de las búfalas.

Estrés perjudicial por ruido

Estudios recientes han registrado que el nivel de productividad de los animales se pueden ver afectados por el ruido, debido a que los sistemas neuronales y neuroendocrinos al estar afectados, comprometen la eficiencia de la alimentación (García et al., 2019). Los resultados de Cwynar y Kolacz, (2011), denotan que el nivel de ruido de 75, 85 y 95 dB con frecuencias de 2 kHz contribuyen a la reducción del apetito de los animales. Otros autores documentaron una reducción de la producción de leche en vacas expuestas dos veces al día a niveles de ruido de entre 80 y 100 dB por más de una hora (Alger y Jensen, 1991). Las búfalas son sensibles a los cambios en su entorno, incluso a los más discretos. Los estímulos negativos están relacionados con la situación en que se encuentran los animales, en específico por

las experiencias generadas por el procesamiento cerebral de entradas sensoriales que se originan principalmente desde el exterior del organismo y que reflejan la percepción del animal respecto a sus circunstancias externas. Las condiciones físicas ambientales que producen estímulos negativos, frecuentemente corresponden al confinamiento, encierro y hacinamiento; el sustrato inadecuado y el suelo mojado/sucio; los contaminantes del aire: NH₃, CO₂, polvo, humo; los olores desagradables, los extremos térmicos; el ruido intenso y/o desagradable; la intensidad inapropiada de la luz; la monotonía: ambiental, física y de iluminación; los eventos impredecibles y los límites físicos para el descanso y para el sueño (Mellor et al., 2020).

En los sistemas de ordeño manual, la emisión de sonidos intensos provenientes de este procedimiento prácticamente es nula o muy baja, caso contrario en los sistemas mecanizados donde se perciben sonorizaciones al momento de operar los sistemas de motorización eléctrica, que regularmente generan estrés perjudicial previo a la habituación de las hembras primerizas (Jacobs y Siegford, 2012; García-Castro et al., 2019), lo que podría influir en el nivel de productividad.

García-Castro et al. (2019), comparando vacas Holstein Fresian bajo ordeños mecánicos (fijos y móviles) estimaron la relación con la producción, composición y calidad de la leche, así como los comportamientos asociados al estrés. Los autores demostraron que el

efecto del ruido sobre la salud de la GM puede reducirse por habituación con la constante exposición de los animales a fuentes de ruido elevado.

Los mayores conteos de células somáticas y de bacterias mesófilas se presentaron en los ordeños considerados como ruidosos ($P < 0.05$), sin importar el tipo de ordeño (fijo o móvil); sin embargo, no se registró ninguna diferencia entre grupos, en relación a la productividad de los animales (litros/día/animal). En contraste, Algers y Jensen (1991), estimaron una reducción de la producción de leche en vacas expuestas dos veces al día a niveles de ruido por más de una hora. Esto podría deberse a que los sistemas neuronales y neuroendocrinos del ganado provocan cambios fisiológicos que comprometen la eficiencia de la hembra lactante (Brouček, 2014). Cabe resaltar que la disminución de la producción de leche al aumentar el nivel de ruido puede reflejarse hasta el siguiente ordeño (Cwynar y Kolacz, 2011).

Algunas especies ganaderas no tradicionales, como las búfalas de agua, parecen ser más sensibles a estímulos estresantes (Mora-Medina et al., 2018). Los animales pueden relacionar experiencias negativas del proceso de ordeño asociadas al miedo, por lo cual, se debe evitar que adquieran una experiencia negativa en la zona de ordeño (Míguez Vázquez, 2009; Temple et al., 2018). Si los animales pasan por una etapa de estrés agudo, se activa el sistema simpático adrenal, se libera adrenalina y, como consecuencia, se disminuye el

suministro de oxitocina, lo cual podría limitar la eyección de leche (Munish y Mehla, 2011). La sensibilidad de las búfalas lecheras deriva de que la GM almacena del 92 al 95% de la leche en el compartimiento alveolar y el resto en la cisterna (5%) (Bertoni et al., 2019a,b), lo cual induce al uso de oxitocina exógena para conseguir que una mayor proporción de leche pueda ser expulsada (Polikarpus et al., 2014).

Interacción humano-animal

Los seres humanos también inciden en las circunstancias externas de los animales, y su comportamiento interactivo hacia ellos tiene el potencial de provocar efectos positivos que mejoran el bienestar o, por el contrario, efectos negativos que comprometen su nivel de bienestar (Mellor et al., 2020; Mota-Rojas et al., 2020).

La interacción de los animales con los seres humanos (Mota-Rojas et al., 2020), al igual que con el equipo e infraestructura utilizados en los diferentes tipos de ordeño, se ha vinculado con la productividad y calidad de la leche, así como en el comportamiento y el bienestar (Cavallina et al., 2008). En el ordeño manual se aumenta la relación humano-animal ya que existe una estrecha interacción entre los operarios con las hembras durante este proceso (Cwynar y Kolacz, 2011). Sabiendo que la reacción del animal se basa en experiencias previas con los individuos con los que interactúa cotidianamente, es relevante procurar que estas relaciones sean positivas y de calidad durante el ordeño (Cavallina et al., 2008; Polikarpus et al., 2014).

La interacción entre humanos y animales está condicionada por los 5 sentidos: tacto, olfato, gusto, audición y visión; y en función a su naturaleza puede ser considerada como positiva o negativa. Es importante destacar que las acciones que el animal percibe como negativas conducen a respuestas agresivas como el aumento del miedo frente a los humanos, resultando en una mayor distancia de fuga, dificultando su manejo y ocasionándoles estrés perjudicial. El miedo representa un perjuicio en la producción y en la calidad final de la leche (Bruckmaier y Blum, 1998; Rushen et al., 1999; Hemsworth et al., 2002).

Dado que la relación entre el trabajador y los animales lecheros tiene consecuencias directas sobre el bienestar animal y la producción, es importante considerar los rasgos característicos de la personalidad del operario, el grado de satisfacción laboral y de empatía para con los animales; ya que éstos han demostrado ser claves en el tipo de interacción que se construye (Hemsworth et al., 2002; Hanna et al., 2009; Mota-Rojas et al., 2020).

IMPLICACIONES EN LA RENTABILIDAD DE LAS UNIDADES LECHERAS

En función del modelo tecnológico constituido por: equipos, infraestructura, sistemas de gestión y el saber hacer del productor, se define el tipo de especialización de cada unidad lechera.

Independientemente del modelo adoptado, con los recursos disponibles se busca optimizar el proceso, aun en escenarios de limitada capacidad de inversión de los productores. Por lo general, en la medida que se eleva la inversión, los niveles de producción aumentan y los costos de mano de obra unitarios disminuyen. Y si se accede a un canal comercial con precios elevados, se elevan las probabilidades de registrar una mayor rentabilidad en el largo plazo (Castro et al., 2012).

Bijl et al. (2007) analizaron la rentabilidad de las granjas lecheras con sistema de ordeño mecánico convencional y mecánico automatizado, los resultados arrojaron que las unidades de producción con ordeño automático usaban un 29% menos de mano de obra, aunque ésta contaba con mayor nivel de capacitación. En contraste, al comparar el capital disponible para el alquiler de equipo, mano de obra, retribución de créditos y amortizaciones, entre otros, los establos con ordeño mecánico convencional captaban más ingresos para solventar dichos costos. Esta diferencia fue causada por que los sistemas de ordeño mecánico automatizados incrementan el consumo de servicios como gas, agua y electricidad.

Las diferencias respecto a los costos por servicios fueron más bajas en el ordeño mecánico convencional ($P < 0.05$), lo cual resulta coherente con el bajo nivel de insumos y equipos requeridos. En síntesis, los elevados costos fijos bien aplicados suelen compensar la reducción de mano de obra necesaria al introducir el ordeño automático, aunque el

costo ecológico generalmente es mayor dado que se eleva el consumo energético como el uso y contaminación del agua.

Otra característica que se debe tomar en cuenta es que en el ordeño mecánico automatizado se suprimen algunas tareas y puestos de trabajo; no obstante, se demandan nuevas funciones laborales que incluyen el control y supervisión visual del estado de salud, así como la identificación de animales que exceden los intervalos máximos de ordeño (Castro et al., 2012).

Se reitera que con alta calidad y cantidad de leche se puede acceder a clientes como las grandes transformadoras, que suelen ofrecer precios superiores a la media comercial, gracias a los incentivos adicionales, lo que puede favorecer una mayor rentabilidad a pesar de que dichos clientes suelen aplicar estrictos controles de calidad del producto. Por el contrario, la leche en reducidos volúmenes y con calidad media o baja, su canal comercial se restringe a intermediarios, productores de queso y otros derivados que se distribuyen en circuitos de proximidad o cortos de comercialización, basada en la venta directa de productos frescos o de temporada sin intermediario.

Esta división de canales comerciales es esquemática, pues existen múltiples excepciones y existen ejemplos de pequeños productores de

bajos ingresos que han logrado valorar y obtener precios atractivos por la leche².

CONSIDERACIONES FINALES

La gestión del ordeño puede considerarse una de las actividades más importantes y crucial en la cadena de producción de leche. En la industria láctea es común que se sugiera el uso del ordeño mecánico, tanto por rendimiento, inocuidad, como por la calidad de la leche. Es importante resaltar que la mastitis es una de las enfermedades más costosas que afectan a las búfalas. Los costos económicos directos asociados con este padecimiento, incluyen leche reducida en rendimiento y calidad, aumento de los costos veterinarios, leche desechada (durante el curso del tratamiento) y penalizaciones por recuento de células somáticas (SCC). Las estrategias de intervención para prevenir la mastitis deben basarse mayoritariamente en el conocimiento de los factores predisponentes y favorecedores ya que su control es básico para limitar el número de eventos de mastitis. Entre los procedimientos para su prevención, en primer lugar, es aconsejable prestar especial atención durante el período seco, cuando las búfalas son más sensibles a los patógenos de la mastitis y las bacterias ambientales. Además, durante la lactancia, se debe realizar

² Revisar para el caso de México, los múltiples trabajos de F. Cervantes Escoto, (Ej. Cervantes et. al., 2019) que muestran que, a través de la organización, valorización de quesos tradicionales y promoción de sus productos, entre otros mecanismos se pueden incorporar a nichos de mercado en los que perciben precios atractivos por la leche y sus derivados.

una rutina de desinfección después del ordeño y evitar el hacinamiento, la mala ventilación, el ordeño inadecuado, y la mala higiene. Para este propósito es necesario recordar el significado relevante de la formación de los criadores sobre pautas de higiene y prácticas adecuadas de gestión agrícola. Por último es importante realizar la inspección periódica del rebaño mediante pruebas bacteriológicas relacionadas con el nivel de células somáticas para poder recurrir a un tratamiento adecuado y oportuno de la mastitis. Sin embargo, se deben fomentar programas de capacitación y asesoría técnica que incorporen las ventajas del ordeño mecánico donde también se cumplan con los estándares de bienestar animal, sanidad, higiene y alimentación, entre otras, que suelen derivar en mayor rendimiento y calidad de la leche y, de esa manera, es muy posible que se mejore la rentabilidad de las unidades productivas.

REFERENCIAS

- Algers, B., Jensen P., 1991. Teat stimulation and milk production during early lactation in sows: Effects of continuous noise. *Can. J. Anim Sci.* 71;1, 51–60. doi:10.4141/cjas91-006.
- Akers, M.R., Lefcourt A.M., 1984. Effect of presence calf on milking-induced release of prolactin and oxytocin during early lactation of dairy cows. *J Dairy Sci.* 67; 115--122. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(84)81274-6
- Andrade, R; Caro, Z.; Porras, J., 2016. Efecto de la frecuencia de

ordeño en la producción y comportamiento de vacas lecheras en lactancia. Revista Científica, FCVLUZ. Vol. XXVI. N° 1: 33-40.

- Ávila, T.S., Gutiérrez, C.A. J., Sánchez, G.J.I., Canizal, J.E., 2002. Comparación del estado de salud de la ubre y la calidad sanitaria de la leche de vacas ordeñadas manual o mecánicamente Vet. Mex. 33(4),387-394. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42333404>
- Bach, A., Cabrera, V., 2017. Robotic milking: Feeding strategies and economic returns. J. Dairy. Sci. 100(9), 7720-7728. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11694>
- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutierrez, Guerrero-Legarreta, I., 2019a. Similarities and Differences between River Buffaloes and Cattle: Health, Physiological, Behavioral and Productivity Aspects. J. Buffalo. Sci. 9, 92-109. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2019.08.03.12>.
- Bertoni, A., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Cruz-Monterrosa, R.G., Guerrero-Legarreta, I., Mora-Medina, P.; Ramírez-Bribiesca, E., 2019b. Capítulo 15. Ordeño manual y mecánico: vínculos con productividad, bienestar animal y rentabilidad. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 489-509), Segunda edición. México, BM Editores.

- Bijl, R., Kooistra, S.R., Hogeveen, H., 2007. The profitability of automatic milking on Dutch dairy farms. *J. Dairy. Sci.* 90(1), 239-248. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)72625-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)72625-5)
- Bonifaz, G.N., de Jesús, R.N., 2011. Good Milking Practices and The Hygienic Quality Of Milk In Ecuador. *La Granja*, 14(2), 45-57.
- Borghese, A., Rasmussen M., Thomas C.S., 2007. Milking Management of Dairy Buffalo. *Ital J. Animl Sci* 6, 39–50. doi:10.4081/ijas.2007.s2.39.
- Bray, D.; Broaddus, B., 2006. How to reduce mastitis and somatic cell counts in your dairy herd?. Ed. Proceedings 3rd Florida & Georgia Dairy Road Show.
- Bruckmaier, R.M., Blum J.W., 1996. Simultaneous Recording of Oxytocin Release, Milk Ejection and Milk Flow during Milking of Dairy Cows with and without Prestimulation. *J. Dairy Res.* 63, 201–8. doi:10.1017/S0022029900031708.
- Bruckmaier, R.M., Blum J.W., 1998. Oxytocin release and milk removal in ruminants. *J. Dairy Sci.* 81, 939–49. doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75654-1.
- Bruckmaier, R.M., Hilger M., 2001. Milk Ejection in Dairy Cows at Different Degrees of Udder Filling. *J Dairy Res.* 68. 369–76. <https://doi.org/10.1017/S0022029901005015>.
- Brouček, J., 2014. Effect of noise on performance, stress, and behaviour of animals. *Slovak J. Anim. Sci.* 47(2), 111-123. http://www.cvzv.sk/.../8_Broucek.pdf

- Camacho, J., Cervantes, F., Palacios, M.I., Cesín, A., Ocampos, J., 2017. Especialización de los sistemas productivos lecheros en México: la difusión del modelo tecnológico Holstein. *Rev. Mex Cienc Pecu* 8(3), 259-268. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4191>
- Castro, A., Pereira, J.M., Amiama, C., Bueno, J., 2012. Estimating efficiency in automatic milking systems. *J. Dairy. Sci.* 95(2), 929-936. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3912>
- Cavallina, R., Roncoroni, C., Campagna, M.C., Minero, M., Canali, E., 2008. Buffalo behavioural response to machine milking in early lactation. *Ital. J. Anim. Sci.* 7(3), 287-295. <https://doi.org/10.4081/ijas.2008.287>
- Cervantes, F., Islas A., Camacho, J., 2019. Innovando la quesería tradicional mexicana sin perder artesanidad y genuidad. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. Volumen 29, Número 54, 4-18. <https://dx.doi.org/10.24836/es.v29i54.794>
- Cwynar, P., & Kolacz, R., 2011. The effect of sound emission on sheep welfare. In *Animal hygiene and sustainable livestock production. Proceedings of the XVth International Congress of the International Society for Animal Hygiene, Vienna, Austria, 3-7 July 2011, Volume 3* (pp. 1059-1061). Tribun EU.
- De Koning, K., Rodenburg, J., 2004. Automatic milking: State of the art in Europe and North America. In: *Automatic milking: A better*

understanding. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands. pp. 27-37. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-525-3>

- Dong, S. K., Long, R. J., Kang, M. Y., 2003. Milking and milk processing: traditional technologies in the yak farming system of the Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Int. J. Dairy. Technol.* 56(2), 86-93. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2003.00088.x>
- El-Sayed, A.B., Shalash M.R., Nawito M.F., Estmat E.S. 1991. The Effect of Calf Contact on Milk Parameters. In *Proc. Third World Buffalo Congress*. Varna, Bulgaria.
- Espinosa, Y., Ponce, P., Capdevila, J., 2011. Efecto de la estimulación con bucerro, oxitocina y manual sobre los indicadores de ordeño en búfalas. *Rev. Salud. Anim.* 33(2), 90-96.
- Estévez R., Ratrepo Botero J.N., Ruiz-Cortés J.E., Olivera Angél T.M., 2011. Detección de riesgos de contaminación con microbios ambientales en un sistema de ordeño mecánico de un hato lechero del norte de Antioquia. *Rev. Lasallista. Investig.* 8(1), 7-15.
- Faría Reyes, J.F., García Urdaneta, A., D'Pool, G., Kutchynskaya Valero, L., Allara Cagnaso, M., Angelosante, G., 2005. Detección de mastitis subclínica en bovinos mestizos doble propósito ordeñados en forma manual o mecánica. Comparación de tres pruebas diagnósticas. *Rev. Científica*, 15(2), 109-118.

Farnsworth, R.J., 1980. Role of teat dips in mastitis control. J. Am. Ed. Vet. Med. Assoc. 176:1

García-Castro, F.E., Zuñiga-López, A., Flores-Castañeda, D., Cubides-Cárdenas, J.A., 2019. Noise levels during the milking of dairies with mechanical systems in the highlands of the tropics of Colombia and its effect on milk quality and animal welfare. Rev. Investig. Vet. Perú 30, 691-698.

Catherine Flórez Castañeda¹, Jaime Andrés Cubides Cárdenas¹

García, F.E., Zuñiga A., Florez D.C., Cubides C.J.A., 2019. Niveles de ruido durante el ordeño de lecherías con sistemas mecánicos del trópico alto colombiano y su efecto en la calidad de la leche y el bienestar animal. Rev. Invest. Vet. Perú. 30, 691–98. doi:10.15381/rivep.v30i2.14642.

Gargiulo, J.I., Lyons, N.A., Kempton, K., Armstrong, D.A., Garcia, S.C., 2020. Physical and economic comparison of pasture-based automatic and conventional milking systems. J. Dairy. Sci. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18317>

Hamann, J., Burvenich, C., Mayntz, M., Osteras, O., Haider, W., 1994. Machine-induced changes in the status of the bovine teat with respect to the new infection risk. Bull. Int. Dairy. Fed. 297. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BE9401005> ISSN: 0250-5118

Hemsworth, P.H., Coleman, G.J., Barnett, J.L., Borg, S., Dowling, S., 2002. The effects of cognitive behavioral intervention on the

- attitude and behavior of stockpersons and the behavior and productivity of commercial dairy cows. *J. Anim. Sci.* 80, 68- 78.
- Hanna, D., Sneddon, I.A., Beattie, V.E., 2009. The relationship between the stockperson's personality and attitudes and the productivity of dairy cows. *Animal*, 3(5),737-743.
- Jacobs, J.A., Siegford, J.M., 2012. Lactating dairy cows adapt quickly to being milked by an automatic milking system. *J. Dairy. Sci.* 95(3), 1575-1584. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4710>
- Khatun, M., Thomson, P.C., Kerrisk, K.L., Lyons, N.A., Clark, C.E.F., Molfino, J., García, S.C., 2018. Development of a new clinical mastitis detection method for automatic milking systems. *J. Dairy. Sci.* 101(10), 9385-9395. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14310>
- Kovács, L., Tózsér, J., Bakony, M., Jurkovich, V., 2013. Short Communication: Changes in heart rate variability of dairy cows during conventional milking with nonvoluntary exit. *J. Dairy. Sci.* 96(12), 7743-7747. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7030>
- López, G.A., 2017. Adaptación de un hato de vacas Holstein al sistema de ordeño robotizado, evaluando la productividad de leche. Disertación. Universidad Autónoma de Querétaro, México. p. 53. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1357>
- Lupoli, B., Johansson, B., Uvnäs-Moberg, K., Svennersten-Sjaunja, K., 2001. Effect of Suckling on the Release of Oxytocin,

- Prolactin, Cortisol, Gastrin, Cholecystokinin, Somatostatin and Insulin in Dairy Cows and Their Calves. *J. Dairy Res.* 68, 175–87. doi:10.1017/S0022029901004721.
- Melin, M., Svennersten-Sjaunja, K., Wiktorsson, H., 2005. Feeding patterns and performance of cows in controlled cow traffic in automatic milking systems. *J. Dairy. Sci*, 88(11), 3913-3922. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73077-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73077-0)
- Mellor D.J., Beausoleil N.J., Littlewood K.E., McLean A.N., McGreevy P.D., Jones B., Wilkins C., 2020. The 2020 Five Domains Model: Including Human – Animal Interactions in Assessments of Animal Welfare. *Animals*. 10, 1870. doi:10.3390/ani10101870
- Méndez-Martínez, P., Barrasa Rioja, M., Castro Ramos, A., Pereira González, J. M., 2014. Comparación en la eficiencia de conversión del alimento en sistemas de ordeño convencional y robotizado. In 18th International Congress on Project Management and Engineering, Alcañiz, España, 16-18th July. Retrieved September 27, 2020 from <http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/123456789/160>
- Míguez Vázquez, J.L., 2009. La búsqueda de la excelencia en el ordeño. La ordeñabilidad. *Producción animal*. 24(251), 40-52. <http://srvcloudseragro.opensoftsi.es:81/documentos/Excelencia.pdf>

- Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J. A., Mota-Rojas, D., Ruiz-Buitrago, J. D., Nava-Adame, J., Guerrero-Legarreta, I., 2018. Behaviour and welfare of dairy buffaloes: Pasture or confinement?. *J. Buffalo. Sci.* 7(3), 43-48.
<https://doi.org/10.6000/1927-520X.2018.07.03.2>
- Mota-Rojas, D., De la Ros, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero, L.I., Napolitano, F., 2019a. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. *CAB Rev.* 14(035), 1-14. (UK).
<https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>
- Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Napolitano, F., Serrapica, F., De Rosa G. et al. 2019b. Capítulo 9. La búfala de agua durante el parto y ordeño: respuestas fisiológicas y conductuales. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). *El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales* (p. 154-191), Segunda edición. México, BM Editores.
- Mota-Rojas, D., Broom, D.M., Orihuela, A., Velarde, A., Napolitano, N., Alonso-Spilsbury, M., 2020. Effects of human-animal relationship on animal productivity and welfare. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 8, 196-205.
<https://doi.org/10.31893/jabb.20026>
- Munish, K., Mehla, R. K., 2011. Milking management practices of buffaloes in the rural areas of Punjab. *Indian J. Anim. Prod. Manag.* 27(1/2), 23-25.

- Napolitano, F., De Rosa, G., Braghieri, A., Álvarez-Macías, A., Bertoni A., Serrapica, F., 2019. Capítulo 5. Hallazgos recientes sobre la búfala lechera: inventario animal, razas, aspectos reproductivos, de salud y calidad. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 154-191), Segunda edición. México, BM Editores.
- Napolitano, F., Arney D., Mota-Rojas D., De Rosa G., 2020a. Chapter 17. Reproductive Technologies and Animal Welfare. S&T Sci., Elsevier Press, Amsterdam, the Netherlands.
- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Braghieri, A., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Cruz-Monterrosa, R., De Rosa, G., 2020b. Factores Productivos y su incidencia en el bienestar de la búfala lechera en sistemas de producción extensivos e intensivos. Soc. Rur. Prod. Med. Amb. 20, (40), 155-173.
- Philpot, N., Nickerson, S., 2000. Ganando la lucha contra las mastitis. Naperville, USA. 9, 22-42.
- Orihuela, A., Mota-Rojas, D., Velarde, A., Strappini-Asteggiano, A., Thielo de la Vega, L., Borderas-Tordesillas, F., Alonso-Spilsbury, M., 2018. Invited review: environmental enrichment to improve behaviour in farm animals. CAB Rev. 13(059):1–25. (UK).
- Ortiz, T. Gutierrez,, S., Rodriguez, H.; Olivera-Angel, M., 2014. Manual de Buenas Prácticas de Ordeño. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1128.7521>

- Park, Y.W., Haenlein, G.F., Ag, D.S., 2013. Milk and dairy products in human nutrition: Production, Composition and health. Wiley-Blackwell. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, pp.728. ISBN: 978-0-470-67418-5
- Polikarpus, A., Grasso, F., Pacelli, C., Napolitano, F., De Rosa, G., 2014. Milking behaviour of buffalo cows: entrance order and side preference in the milking parlour. J. Dairy. Res. 81(1), 24. <https://doi.org/10.1017/S0022029913000587>
- Rasmussen, M.D., Frimer E.S., Galton D.M., Petersson L.G., 1992. The influence of premilking teat preparation and attachment delay on milk yield and milking performance. J. Dairy Sci. 75, 2131–41. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)77973-9.
- Rodenburg, J., 2017. Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow. J. Dairy. Sci. 100 (9), 7729-7738. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11715>
- Romero, G., Peris, C., Fthenakis, G. C., Diaz, J. R., 2020. Effects of machine milking on udder health in dairy ewes. Small Ruminant Res. 106096. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106096>
- Ruiz, A.K., Ponce, P., Gomes, G., Mota, R.A., Sampaio, E., Lucena, E.R., Benone, S., 2011. Comparison of manual and mechanical milking: prevalence of subclinical mastitis and microorganisms associated with mastitis, in Pernambuco, Brasil. Rev. Salud Anim. 33(1), 57-64.

- Rushen, J., Munksgaard, L., DE Passill, A.M., Jensen, M.B., Thodberg, K., 1999. Location of handling and dairy cows' responses to people. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 55,259-267.
- Temple, D., Brunso, E. M., Llonch, P., Vilanova, X.M., 2018. Bienestar durante el ordeño. *Albéitar: publicación veterinaria independiente*, (216), 8-10.
- Thomas, C.S., Svennersten-Sjaunja K., Bhosrekar M.R., Bruckmaier R.M., 2004. Mammary cisternal size, cisternal milk and milk ejection in murrah buffaloes. *J Dairy Res.* 71, 162–68. doi:10.1017/S0022029904000081.
- Thomas C.S., 2008. Milking management of dairy buffaloes. Tesis doctoral en Swedish University of Agricultural Sciences, Suecia.
https://www.researchgate.net/publication/30072494_Milking_management_of_dairy_buffaloes
- Usmani, R.H., Dailey RA, Inskeep E.K., 1990. Effects of Limited Suckling and Varying Prepartum Nutrition on Postpartum Reproductive Traits of Milked Buffaloes. *J. Dairy Sci.* 73, 1564–70.
- Vetter, A., van Dorland H.A., Youssef M., Bruckmaier R.M., 2014. Effects of a latency period between pre-stimulation and teat cup attachment and periodic vacuum reduction on milking characteristics and teat condition in dairy cows. *J Dairy Res* 81, 107–12. doi:10.1017/S0022029913000617.

- Wade, K. M., Van Asseldonk, M. A. P. M., Berentsen, P. B. M., Ouweltjes, W., Hogeveen, H., 2004. Economic efficiency of automatic milking systems with specific emphasis on increases in milk production. In Automatic Milking—A Better Understanding / Meijering, A., Hogeveen, H., de Koning, C.J.A.M, Wageningen (pp. 62-67). Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands. ISBN 9789076998381
- Wandurraga Bernal, F. M., 2019. Diseño y adecuación de un sistema de ordeño mecánico móvil y manual de manejo basado en buenas prácticas de ordeño en ganaderías caprina. Disertación. Universidad Cooperativa de Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/14684>
- Watters, R.D., Schuring N., Erb H.N., Schukken Y.H., Galton D.M., 2012. The Effect of Premilking Udder Preparation on Holstein Cows Milked 3 Times Daily. J. Dairy Sci. 95. 1170–76. doi:10.3168/jds.2011-4388.
- Watters, R.D., Bruckmaier R.M., Crawford H.M., Schuring N., Schukken Y.H., Galton D.M., 2015. The effect of manual and mechanical stimulation on oxytocin release and milking characteristics in holstein cows milked 3 times daily. J. Dairy Sci. 98, 1721–29. doi:10.3168/jds.2014-8335.



SECCIÓN III

SALUD, TERMORREGULACIÓN Y AMBIENTE



Saint John. 60 x 60cm, oil on canvas, 2016.

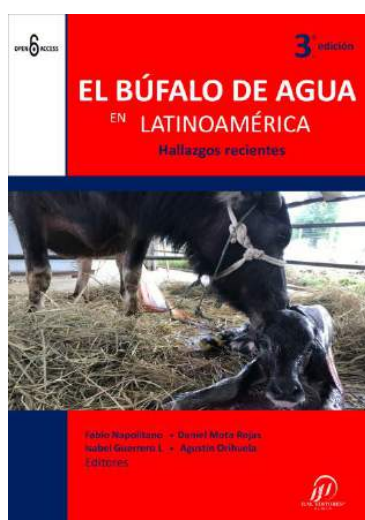
By Alex Cuibus



CAPÍTULO 20

HALLAZGOS RECIENTES DEL PROCESO SALUD-ENFERMEDAD EN BÚFALO DE AGUA (*BUBALUS BUBALIS*), ENFERMEDADES VIRALES

Julio Martínez-Burnes, Hugo Barrios-García, Jorge Alva-Pérez, Belkis Corona-González y
Dasiel Obregón Alvarez



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3^a. Edición

CAPÍTULO 20

"Hallazgos recientes del proceso salud-enfermedad en búfalo de agua (*Bubalus bubalis*)" Enfermedades Virales

Julio Martínez-Burnes¹, Hugo Barrios-García¹, Jorge Alva-Pérez¹, Belkis Corona-González² y Dasiel Obregón Alvarez³

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México.

²Laboratorio de Hemoparásitos. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Cuba.

³Departamento de Medicina Veterinaria Preventiva, Universidad Agraria de la Habana (UNAH), Cuba.

INTRODUCCIÓN

Los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) son originarios de Asia, fueron llevados a África, Europa, Oceanía y posteriormente al continente americano a Estados Unidos, Venezuela, Argentina y Brasil (Calderón, et al., 2010; Bertoni et al., 2020). La población de búfalos ha crecido aceleradamente y se encuentra actualmente en todos los países americanos (Minervino et al., 2020). La población mundial informada por la FAO en 2018 fue de ~206.6. millones de cabezas. Minervino et al. (2020) enumeran 77 países que tienen hatos de búfalos, con una estimación de 208,098,759 cabezas. El 96.7% se encuentra en Asia; 1.6% en África, 0.22% en Europa, 0.07% en Oceanía y 1.23% en América. Desde los años 70's, la cantidad de búfalos en el mundo

"Hallazgos recientes del proceso salud-enfermedad en búfalo de agua (*Bubalus bubalis*)" Enfermedades Virales | BM EDITORES



aumentó 91%, cinco veces más que la de bovino. América latina es la región de mayor crecimiento en sistemas de producción de búfalos a nivel mundial. Los hatos más numerosos se encuentran en orden decreciente en Brasil, Venezuela, Colombia, Argentina, Cuba y México (Minervino et al., 2020). En México la llegada del búfalo fue entre 1996 a 1998, procedentes de Belice, pero de origen asiático. De acuerdo a la información de la Asociación Mexicana de Criadores de Búfalos de Agua (AMEXBU) actualmente hay hatos en 21 estados (BM Editores 2020) con un total de 45,000 cabezas (Minervino et al., 2020). Por lo que la introducción de búfalos de agua a México es relativamente reciente y aún se desconoce mucho sobre su situación demográfica y sanitaria.

El búfalo de agua tiene gran adaptabilidad a los ambientes rústicos y una excelente conversión de vegetales de escaso valor nutritivo en carne y leche de mejor calidad, así como para trabajo, lo que lo hace muy atractivo para los productores (Angulo et al., 2010; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b). Esto se debe a que posee algunas características morfológicas y físicas que facilitan una mayor adaptación a condiciones más variables que el ganado bovino doméstico tradicional (Calderón et al., 2010). La producción de búfalos representa una opción importante en explotaciones ganaderas en zonas poco aprovechables por los bovinos, como terrenos bajos, inundables y pantanosos, con climas tropical y subtropical y con pastizales naturales de bajo valor nutritivo (Martínez et al., 2006; Mota-Rojas et al., 2020). Las ventajas se fundamentan en factores

como longevidad, rusticidad, mayor tiempo de masticación, eficiencia ruminal, resistencia a enfermedades y breves periodos de anestro (Bertoni et al., 2019; 2020).

Generalmente, los búfalos de agua comparten el hábitat con reses, situación que puede representar problemas sanitarios, debido a que los agentes de ciertas enfermedades infecciosas pueden transmitirse entre ambas especies y verse afectadas por una gran variedad de enfermedades que influyen negativamente en la producción (Martínez et al., 2006). Muchas de estas patologías son de origen infeccioso, y se transmiten de un animal a otro y otras son zoonóticas contagiando al ser humano y generando problemas de salud pública (Motta et al., 2014). El contacto entre búfalos de agua y bovinos del género *Bos* u otros animales domésticos y salvajes, así como su acceso a diferentes ecosistemas, ha expuesto a la especie a diferentes enfermedades infecciosas (Villanueva et al., 2018). Estas enfermedades infecciosas emergentes causadas por bacterias, virus, hongos, protozoarios y endoparásitos tienen un impacto económico significativo. La importación y exportación de ganado es una vía muy importante de diseminación de enfermedades de un continente a otro (Villanueva et al., 2018). El comportamiento de revolcarse o sumergirse en agua fangosa predispone a los búfalos a diferentes enfermedades. Además, la mezcla con otros búfalos, rumiantes y otros animales facilita aún más la transmisión de enfermedades.

Muchos son los beneficios del búfalo, sin embargo, no debe pasarse por alto que, al ser un animal recientemente introducido a algunos países, todavía se desconocen muchos aspectos de su condición sanitaria, así como el impacto que ésta puede tener en las poblaciones animales y en la salud pública, además de que es susceptible a diversas enfermedades, que puede portar y transmitir. Un aspecto relevante de la convivencia del búfalo de agua con otras especies en explotación compartida, es que al desconocerse las enfermedades que portan los búfalos y que muchas son desestimadas y a las que podrían resultar susceptibles, se crea un desequilibrio entre los agentes etiológicos, el medio ambiente y los hospederos susceptibles (el búfalo y otras especies), lo que puede generar un serio problema zoonosológico y poner en riesgo la salud de los productores y personas en contacto con los animales o por el consumo de sus subproductos (Domínguez et al., 2013). Por ende, el concepto salud-enfermedad en la producción bufalina adquiere gran relevancia. Por lo que en este trabajo se hace una revisión de las principales enfermedades del búfalo de agua, sus características, epidemiología y hallazgos recientes que permitan un mayor conocimiento sobre la salud de los búfalos de agua, el comportamiento de las enfermedades, su interacción con otras especies, la interacción del hospedador, vectores y patógenos que pueda ser de beneficio para los médicos veterinarios, profesionales y técnicos.

ENFERMEDADES VIRALES

Fiebre Aftosa

La Fiebre Aftosa (FA) es una infección causada por un Aftovirus, virus ARN perteneciente a la familia Picornaviridae que afecta a los animales de pezuña hendida. El virus tiene siete serotipos principales: O, A, C, SAT 1, SAT 2, SAT 3 y Asia 1, con varios subtipos inmunológicos de diferente virulencia. Desde 1978, se informó que el serotipo Asia 1 es más grave en búfalos que en reses. El serotipo A también ha sido detectado en búfalos de agua relacionado con brotes en el Sudeste Asiático (Blacksell et al., 2019). Los serotipos O, A, and Asia 1 son endémicos en India, el O es responsable de más del 80% de brotes de FA en ese país (Biswal et al., 2019).

Epidemiología: La enfermedad está presente en casi todo el mundo, excepto en América del Norte y Central (norte de Panamá), Australia, Nueva Zelanda, Japón, Gran Bretaña y Escandinavia. Los países de la Unión Europea (UE) generalmente están libres. Se han descrito formas graves en búfalos de pantano autóctonos de la India, Egipto y Rumania (Fagiolo et al., 2005). Para América del Norte y Central es considerada exótica y es uno de los objetivos principales de las estrategias de prevención y control de su ingreso.

Características. La enfermedad es aguda y altamente contagiosa y puede extenderse a grandes áreas debido al movimiento de animales, productos, objetos y personas infectados o contaminados. Se ha demostrado que la susceptibilidad de los búfalos a la FA varía según el país y las distintas cepas del virus. Los bovinos del género Bos y

búfalos se infectan principalmente por transmisión de aerosoles, ingestión o contacto directo. Se ha demostrado que, durante la etapa aguda de la infección, la enfermedad se ha transmitido del bovino al búfalo y viceversa (Gomes et al., 1997). Las personas pueden infectarse a través de heridas en la piel o la mucosa oral al manipular animales enfermos, el virus en laboratorios o al beber leche infectada. La infección en humanos es temporal y leve, por lo que la FA no se considera un problema serio de salud pública, pero, debido a la variedad de especies afectadas, la alta tasa de infectividad y el hecho de que el virus se elimina antes de que aparezcan los signos clínicos, es una de las enfermedades notificables más temida. Además, por la similitud de otras enfermedades vesiculares o ulcerativas con la FA, consideradas de notificación obligatoria, es importante su diagnóstico diferencial ante el primer indicio de un brote inusual. El período de incubación es de 2 a 21 días (promedio de 3 a 8). La tasa de infección (morbilidad) puede alcanzar el 100 por ciento, sin embargo, la mortalidad es baja, pero puede llegar a un 20 y un 25% en búfalos. La infección persistente en búfalos durante los primeros 35 días después de la infección es similar a la del ganado bovino doméstico tradicional (Gomes et al., 1997). El papel del búfalo como transmisor de FA que puede mantener persistente a la enfermedad en ausencia de presentación clínica fue confirmada desde 2009 (Blacksell et al., 2019).

Hallazgos clínicos. Los signos clínicos en reses son salivación, depresión, anorexia y cojera causada por lesiones vesiculares en piel de labios, lengua, encías, fosas nasales, bandas coronarias, espacios

interdigitales y pezones (**Figura 1**). Inicialmente se presenta fiebre y disminución de la producción de leche. Las lesiones vesiculares se transforman en ulcerativas susceptibles a infecciones. La FA se ha descrito en el búfalo indio (*Bubalus bubalis*) con las mismas características que en reses, con diferencias en la presencia de lesiones menores en la lengua y las lesiones iniciales escamosas en las patas que eventualmente se volvieron vesiculares en los búfalos (Gomes et al., 1997). La producción de leche puede afectarse hasta en un 30% en los búfalos. Todos los grupos de edad se ven afectados por igual, pero en los búfalos lactantes la enfermedad puede resultar más grave y a veces con alta mortalidad (Sharma y Kumar, 2003). Los hallazgos postmortem se caracterizan por erupciones vesiculares y ulcerativas.



Figura 1. A. Búfalo hembra con cojera por lesiones vesiculares en espacios interdigitales por Fiebre Aftosa. B. Lesiones ulcerativas en el morro y encías de búfalo de agua con Fiebre Aftosa. Imágenes amablemente proporcionadas por la Dra. Karima Akool AISalihi, profesora asociada del College of Veterinary Medicine/Al Muthanna University y el Dr. Jalil Abed Gatie /Consult/ Veterinary directorate, Ministry of Agriculture de Irán.

Control. Las estrategias para el control de la FA dependen de la situación sanitaria existente. Para los países libres, la erradicación implica una política en la que no se tolera la presencia o posible incursión del virus. Mientras que en países en los que se considera endémica, el control implica que la presencia del virus puede ser tolerada pero sus efectos se minimizan con la vacunación y otras medidas zoosanitarias. Dentro de las estrategias de control, se usa el "sacrificio sanitario" que se aplica cuando se producen brotes en

países que estaban libres de FA o como etapa final en una campaña de erradicación. El control del movimiento e importación de animales y productos de países con presencia de la enfermedad a otros libres, así como la eliminación de la fuente de infección (sacrificio de todas las poblaciones infectadas y en contacto) y las investigaciones epidemiológicas son elementos esenciales en la erradicación. En países que “conviven” con la enfermedad, se han estudiado métodos de inmunización mediante la inoculación, dos veces al año, con una vacuna cóctel que contenga los serotipos específicos circulantes localmente. Los estudios moleculares apuntaron a la proteína de la cápside VP1 como el principal sitio inmunogénico, y se ha probado para vacunas con resultados alentadores (Sharma et al., 2001).

Recientemente, se publicó el primer informe sobre la variación genética y antigénica del virus de la FA durante la persistencia del virus en reses y búfalos asiáticos domésticos. La proporción de animales de los que se recuperó ARN del virus no fue significativamente diferente entre bovinos (*Bos*) y búfalos. Sin embargo, el virus se aisló de una mayor proporción de búfalos y durante más tiempo en comparación con los bovinos. Autores sugieren que esto puede reflejar diferencias en las interacciones virus-huésped entre el ganado y el búfalo que pueden permitir una supervivencia más larga del virus en el búfalo. Alternativamente, diferencias en anticuerpos secretores (avidez o cantidad) entre el ganado y el búfalo pudieran disminuir la recuperación exitosa del virus de las muestras de ganado (Biswal et al., 2019). En India existen programas exitosos de vacunación a largo plazo

que disminuyen la presentación y pérdidas por la FA (Singh et al., 2007). Sin embargo, en países del sudeste de Asia a pesar de muchos años de vacunación, numerosos factores han impedido el control exitoso de la FA, incluyendo el movimiento transfronterizo “informal” no regulado de ganado y sus productos, dificultades para implementar programas de vacunación, aparición de nuevos virus, topotipos y linajes, capacidad técnica de bajo nivel y bioseguridad a nivel nacional, conocimiento limitado de los agricultores sobre la FA, falla en la notificación y respuesta oportuna de brotes y limitaciones en programas nacionales e internacionales de control de la FA (Blacksell et al., 2019).

Peste Bovina

El agente causal de la peste Bovina es un virus ARN, familia Paramyxoviridae, género Morbillivirus, caracterizado por una alta tasa de morbilidad y mortalidad con cepas virulentas que en la India puede llegar hasta el 77%, pero variable con cepas leves. Afecta reses, búfalos de agua, ovejas, cabras y animales salvajes. No afecta al humano, por lo que no constituye un riesgo de salud pública. La susceptibilidad de los búfalos es variable: los búfalos egipcios y turcos parecen ser razonablemente resistentes, mientras que las especies del Lejano Oriente parecen ser muy susceptibles. En la India, los búfalos son tres veces más susceptibles que el ganado; esto se debe quizás a la especificidad del hospedador a las cepas del virus (Sharma y Kumar, 2003). La enfermedad se ha erradicado en la mayor parte del mundo. Sin embargo, en países donde se crían búfalos, seguía presentándose

en India, Pakistán, Filipinas y Turquía. El virus nunca fue encontrado ni en las Américas ni en Australia o Nueva Zelanda (Fagiolo et al., 2005). El virus se transmite por contacto directo e indirecto por secreciones, orina, heces, exudados vaginales y leche. El sitio principal de invasión es el epitelio del tracto respiratorio superior o inferior. El período de incubación en búfalos es de 3 a 7 días, pero esto puede variar debido a las diferencias en la resistencia innata (Obi et al., 1999).

Hallazgos clínicos. Se presenta fiebre (40-42°C) con depresión, anorexia, reducción de la rumia, pelaje áspero y aumento de la frecuencia respiratoria y cardíaca. Después de dos a tres días se presenta congestión de membranas mucosas, lagrimeo mucopurulento intenso y abundante salivación, anorexia, necrosis y erosión de las mucosas bucales. Posteriormente, se presenta diarrea hemorrágica profusa con moco y restos necróticos. Además de tenesmo severo, deshidratación, dolor abdominal, respiración abdominal, debilidad, decúbito, hipotermia y muerte a los siete a doce días (Fagiolo et al., 2005). Se ha descrito una forma peraguda en animales jóvenes y neonatos y una forma atípica hasta con aborto y signos nerviosos. Por la naturaleza linfotrófica del virus, se recrudecen infecciones latentes o la susceptibilidad a otros agentes infecciosos. Las lesiones características son hemorragias, necrosis y erosiones en boca, intestino, tracto respiratorio, linfadenomegalia con edema, deshidratación y emaciación (Fagiolo et al., 2005).

Profilaxis. Dado que no existe un tratamiento específico, solo de soporte para la diarrea y pérdida de líquidos, se debe usar profilaxis sanitaria, con aislamiento o sacrificio de animales enfermos y en contacto, destrucción y eliminación adecuada de cadáveres y material infectante y protección de zonas no afectadas. Para países libres, lo mencionado en las estrategias de evitar introducción a un país como lo mencionado en la Fiebre Aftosa como enfermedad exótica sería aplicable (Fagiolo et al., 2005). En áreas consideradas epizooticas, se usa vacuna de cepa atenuada del virus, que tarda la inmunidad, pero perdura de por vida, o se puede revacunar en zonas problema. También se recomiendan por OIE vacunas recombinantes termoestables (Sharma et al., 2001). En la década de 1980 se inició un programa denominado Programa Mundial de Erradicación de la Peste Bovina (GREP) (Obi et al., 1999). El GREP fue coordinado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en colaboración con la OIE y donantes importantes como la Comisión Europea; que redujo progresivamente el número de países con la enfermedad y el último brote fue en Kenia en el 2001. El mundo fue declarado oficialmente libre de Peste Bovina en 2011 y es la primera enfermedad animal en ser completamente erradicada de la historia de la humanidad (OIE). Sin embargo, es sumamente importante considerarla en el diagnóstico diferencial de enfermedades ulcerativas y erosivas, ya que son de reporte obligatorio y seguir considerando todas las medidas y estrategias para evitar su reaparición e ingreso a diferentes países.

Fiebre Catarral Maligna

La Fiebre Catarral Maligna (FCM) es una enfermedad pansistémica, frecuentemente fatal que ocurre como un complejo de síndromes que afectan a rumiantes incluyendo reses, búfalo de agua, bisonte americano y cérvidos. Es causada por un virus herpes linfotrópico de la familia Macavirus, subfamilia Gammaherpesvirinae, con dos cepas: virus del herpes 1 de alcelafina (AHV-1 o AIHV-1) y virus del herpes 2 de alcelafina (AHV-2), endémicas en el ñu y antílopes respectivamente. Además, una forma asociada a la oveja (SA-FCM) identificada como virus del herpes ovino-2 (OHV-2), endémico en ovejas y que representa un problema mundial en bovinos (*Bos*) y búfalos. Así como la forma asociada recientemente al herpes caprino-2 (CpHV-2), endémico en cabras domésticas (Spickler, 2019).

Epidemiología. La enfermedad asociada a AIHV-1 se puede observar en zoológicos de todo el mundo y áreas del África subsahariana que contienen ñus salvajes y es el virus de FCM más importante en algunas partes de África, aunque también se puede observar la enfermedad asociada con OvHV-2. En cambio, el OvHV-2 es la principal causa de FCM en animales fuera de África (Spickler, 2019).

En la forma africana en animales silvestres, el virus puede ser transmitido de una infección latente por el antílope africano, que incluye al ñu, al antílope de pastizales y al topi o Damalisco, que se presenta en forma silvestre, en zoológicos y parques. Los ovinos y cabras domésticas y silvestres también son consideradas reservorios

del virus (O'Toole y Li, 2014). La FCM asociada a la oveja ocurre a nivel mundial y son necesarios factores de inmunosupresión como precursores de esta forma (Costa et al., 2009).

No existe evidencia de que la enfermedad sea transmitida a humanos. La FCM asociada a las ovejas es de gran preocupación económica en Indonesia, donde el búfalo de agua se aloja comúnmente con ovejas y cabras (Sunil-Chandra, 2000).

La FCM afecta a todas las edades y razas de búfalos y son más susceptibles que las reses, con morbilidad del 20 al 50% y es común a finales de invierno/primavera (Sharma y Kumar, 2003). El pronóstico de la FCM es desfavorable, una vez que se observan los signos clínicos, la mortalidad en búfalos suele ser del 75% a 100% (Spickler, 2019). El periodo de incubación puede ser de hasta 200 días. La enfermedad se ha informado en la mayoría de los países que crían búfalos (Fagiolo et al., 2005). Hay informes de FCM en búfalos de pantano en Nueva Zelanda (Hill et al., 1993, Tham, 1997), en Indonesia (Hoffmann et al., 1984), y en Tailandia asociadas a la forma de ovinos (Teankam, et al., 2006). En América, existe reporte de un solo brote en Búfalos Murrah en Brasil con el virus OHV-2 (Costa et al., 2009), mantenidos con reses y ovejas, con elevada mortalidad y con tendencia de un solo brote, similar a lo que ocurre en otros países (O'Toole y Li, 2014).

La FCM es una enfermedad impredecible, a veces se producen casos en animales que estuvieron expuestos a portadores, pero sin

incidentes durante años. No está claro por qué los animales no siempre se enferman al exponerse a portadores, pero factores estresantes que aumentan la diseminación del virus en el portador y / o la susceptibilidad en el huésped incidental, o las condiciones ambientales (alta humedad) que aumentan la supervivencia o concentran el virus, o una replicación de virus inusualmente alta, se han sugerido como posibles factores. Los animales gestantes y mas jóvenes parecen ser más susceptibles.

Hallazgos Clínicos. La FCM clásica se presenta en el ganado bovino doméstico tradicional con fiebre, secreción ocular, nasal, panoftalmitis, opacidad corneal; linfadenopatía generalizada; arteritis, inflamación y necrosis de mucosas digestivas (**Figura 2**), respiratoria y urinaria; dermatitis; signos neurológicos y artritis (O'Toole y Li, 2014; Fagiolo et al., 2005). En reses se describen 4 formas clínicas: peraguda, intestinal, de cabeza y ojos y la forma leve.

En los búfalos, la enfermedad se observa en la cabeza y los ojos o en formas intestinales (Sharma y Kumar, 2003). En búfalos de Indonesia, se describió hiperemia de piel, linfadenomegalia y depresión (Hoffmann et al., 1984). Los signos comunes en búfalos incluyen anorexia, fiebre alta, depresión y mala condición corporal, con necrosis y lesiones erosivo-ulcerativas de la cavidad bucal (**Figura 2**).

Los signos neurológicos incluyen ataxia y convulsiones severas que conducen a la muerte. También se observan diarrea y hematuria en

búfalos (Hill et al., 1993; Tham, 1997). Otros reportes en Tailandia describen las mismas lesiones y severidad en búfalos y reses, con vasculitis generalizada con degeneración fibrinoide (Teankam et al., 2006). Los signos y lesiones en búfalos de agua son similares a los de las reses, con la excepción de que la arteritis fibrinoide es poco común, las lesiones orales y esofágicas son raras, la queratitis es relativamente leve y la opacidad corneal inconsistente (Spickler, 2019; Teankam et al., 2006) y la epicarditis-miocarditis generalmente está presente, con necrosis miocárdica (Hoffman et al., 1984; Teankam et al., 2006).

En América, se ha descrito en un brote de FCM en búfalos de agua en Brasil, que las manifestaciones clínicas y lesiones fueron similares a los descritos previamente en bovinos (*Bos*) y de diversas localizaciones geográficas con FCM debida a OvHV-2 y en África asociada con AIHV-1 (Headley, et al., 2020). Los autores confirmaron la asociación del OvHV-2 en este brote (Costa et al., 2009). Este es uno de los pocos estudios de Brasil que han identificado ADN de OvHV-2 en ovejas durante brotes de FCM (Headley et al., 2020). En base a signos y lesiones de FCM, es necesario considerarla en el diagnóstico diferencial de las enfermedades vesiculares y ulcerativas, además de ser de reporte obligatorio por el riesgo.

Profilaxis. No se dispone de una vacuna eficaz para la FCM. Existe una perspectiva para una futura vacuna de virus vivo modificado, las vacunas de virus muertos experimentales han sido inconsistentes en la

inducción de protección contra el desafío, aunque algunas han inducido títulos significativos de anticuerpos neutralizantes de virus.

Además, no existe tratamiento específico y solo de soporte (Fagiolo, A. et al., 2005). Por lo que el control de la enfermedad es posible separando las reses de los búfalos de posibles reservorios, como ovejas, cabras y ñus, especialmente durante las temporadas de parición. Se debe desaconsejar la repoblación de ranchos ganaderos con antílopes alcelafines, ovejas salvajes o cabras.

En cualquier caso, debe requerirse una prueba serológica negativa a FCM o una prueba de PCR negativa para cualquier rumiante salvaje antes de ser colocados o transferidos entre zoológicos para prevenir la introducción de posibles portadores del virus.

La contención de un brote significa la separación inmediata del bovino (*Bos*) o huésped susceptible de ovejas y cabras en caso de enfermedad doméstica y del huésped susceptible de alcelafina o de rumiantes salvajes en el caso de FCM alcelafina (Fagiolo et al. 2005).

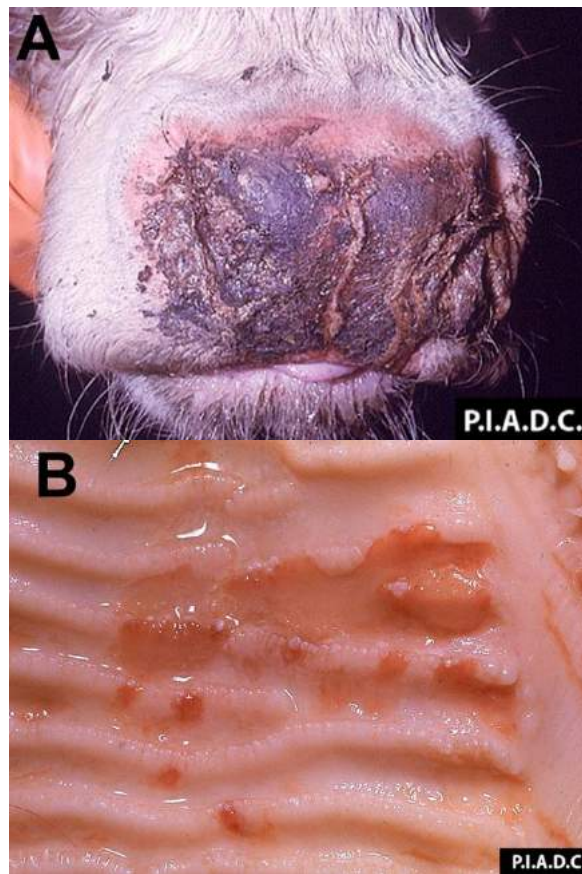


Figura 2. Fiebre Catarral Maligna. A. Bovino (*Bos*), morro con necrosis superficial difusa. B. Bovino (*Bos*), paladar duro con múltiples erosiones coalescentes en la mucosa. Center for Food Security and Public Health (P.I.A.D.C.).

Rinotraqueitis Infecciosa Bovina

La Rinotraqueitis Infecciosa Bovina o Vulvovaginitis Pustular Infecciosa (IBR/IPV), es una enfermedad infecciosa del ganado bovino (*Bos*) debida al virus del herpes bovino 1 (BHV-1 o BoV-1H), perteneciente a la familia Herpesviridae, subfamilia Alphaherpesvirinae. En Australia, el Alfaherpesvirus de los búfalos fue diferenciado del BHV-1 en un perfil de restricción de ADN viral, lo que indicaba que podría ser una especie distinta (Sunil-Chandra, 2000). Estudios en Italia establecen que los búfalos están expuestos tanto al BHV-1 así como al Herpes Virus 1

Bubalino (BuHV-1), a nivel de población y hato, pero no asociado a hatos mixtos, con alta prevalencia de coexistencia de los dos virus a nivel de hato (Scicluna et al., 2007). La mortalidad es baja pero las pérdidas económicas pueden ser considerables.

El BHV-1 puede infectar el tracto respiratorio superior o el tracto reproductivo y se propaga a través de los monocitos, otros leucocitos y de los nervios periféricos produciendo una infección latente en las células neuronales de los ganglios trigeminal y sacro. La infección latente permite que el virus persista en los huéspedes infectados durante períodos indefinidos. La reactivación puede ocurrir de forma espontánea o inducida por estímulos inmunosupresores naturales o artificiales (parto, transporte), lo que conduce a la replicación y reexcreción del virus con su propagación en el medio ambiente (Fagiolo et al., 2005).

Epidemiología. Las especies susceptibles son los bovinos domésticos y silvestres. La transmisión se produce a través de aerosoles, directo e indirecto, por contacto y vía venérea, inseminación artificial, secreciones respiratorias, oculares y reproductivas (líquido amniótico, placenta, feto y semen) de animales infectados, durante diez a catorce días después de la infección, incluso asintomáticos. También a través de chupones de máquinas de ordeño (Sunil-Chandra, 2000). El período de incubación es de dos a veinte días.

La distribución de la enfermedad es mundial. El virus se aisló por primera vez en Australia (1972), luego en Malasia, India y Egipto. En la

India se han descrito seropositividades desde el 7.1% hasta el 21.1% al BHV-1 en búfalos (Samrath et al., 2016; Fagiolo et al., 2005). En Italia, investigaciones serológicas mostraron seroprevalencias que van del 59 al 82% en rebaños y del 30 al 80% en animales, con una circulación viral más activa donde se crían juntos búfalos y reses (Fagiolo et al., 2005). La primera transmisión experimental del BoHV-1 en búfalos se realizó en Italia en 2010, confirmando su susceptibilidad a la infección y su posible rol como huésped/reservorio del virus (Scicluna et al., 2010). También en Italia, el primer aislamiento del virus de BoHV-1 se describió en casos de infecciones naturales en búfalos de agua con rinotraqueitis y abortos en 2011 y 2012 (Fusco et al., 2015). En el mismo país se han descrito seroprevalencias del 59% en búfalos de agua con mayor seropositividad al BuBHV-1, por lo que lo consideran como la principal infección circulante de alphaherpesvirus con impacto en movilización y comercialización (Caruso et al., 2016).

En América, estudios en Brasil, describen anticuerpos contra IBR/IPV en el 59% de sueros de búfalos usando la prueba ELISA (Munchow y Pisarz, 1994) y por microsuero neutralización de 14.7% (Lage et al., 1996). El primer reporte del aislamiento y caracterización molecular del BuHV1 en búfalos de agua en Sudamérica, de acuerdo a Maidana et al. fue en 2014 en Argentina, se sugirió que dos diferentes linajes de BuHV1 circulan en los búfalos de dicho país. En México, el primer reporte de evidencia serológica de BHV1 en búfalos de agua fue en Veracruz con un 57.6% de seropositivos en mayores de 7 años, en cinco ranchos en los que cohabitan con reses (Romero-Salas et al.,

2017). Un segundo estudio en 368 búfalos de agua arrojó una seroprevalencia del 59%, con una mayor prevalencia en mayores de 7 años (86%) y mayor en hembras con historial de aborto. Sin embargo, sin aparente riesgo de interacción con bovinos (*Bos*) (Romero-Salas et al., 2018).

Hallazgos clínicos. En la forma respiratoria los síntomas incluyen: fiebre (hasta 42°C), descenso de producción de leche, anorexia y emaciación, hiperemia severa de la mucosa nasal (nariz roja) con numerosos focos de necrosis en mucosas (**Figura 3**), abundante secreción serosa de nariz y ojos, conjuntivitis, ptialismo, mastitis, tos y, raramente, muerte por bronquiolitis obstructiva o bronconeumonía por infección bacteriana secundaria. La forma abortiva puede complicar la forma respiratoria con aborto tardío (entre el quinto y el octavo mes de gestación) y retención de placenta y puede ser la única manifestación. En la forma genital, la enfermedad dura de dos a tres semanas con fiebre moderada, hiperemia de mucosa genital con vesículas de 1 a 2 mm., secreción blanca de la vulva, polaquiuria y disminución de producción de leche. Los machos presentan balanopostitis. En terneros menores de seis meses, la enfermedad es más grave con diarrea, meningoencefalitis, ceguera y alta mortalidad (Lai O. et al, 2013). Por el tipo de lesiones de BHV-1 en mucosas, deberá considerarse en el diagnóstico diferencial de otras enfermedades ulcerativas virales revisadas en este capítulo, de reporte obligatorio y exóticas para algunos países.

Profilaxis. No existe tratamiento específico, los antibióticos de amplio espectro pueden prevenir la bronconeumonía bacteriana secundaria. Una vez que el virus está en una región, es difícil y costoso de erradicar, ya que cuando se establece la enfermedad, los animales tienden a convertirse en portadores no aparentes. Las pruebas sistemáticas y la eliminación de positivos han tenido éxito en algunos países. Hay diferentes tipos de vacunas inactivadas disponibles, pero los países libres restringen su uso. Sin embargo, muy pocos países la han erradicado (Austria, Dinamarca, Finlandia, Suiza y Suecia) (Fagiolo et al., 2005) y en otros, la erradicación no se considera de importancia o prioridad.



Figura 3. Becerro. Rinotraqueitis Infecciosa Bovina. Lesiones erosivas en mucosa oral.

Diarrea Viral Bovina

La enfermedad causada por el virus de la Diarrea Viral Bovina (BVDV) se describe como una enfermedad persistente de las mucosas y como síndrome hemorrágico. El virus pertenece al género Pestivirus, familia Flaviviridae y tiene la capacidad de desarrollar muchas variantes. Presenta diferentes biotipos: uno que produce efectos citopáticos (ECP) en cultivo celular, versus otro que no (noECP). Las infecciones persistentes se deben a virus noECP que también causan malformaciones fetales, mientras que los virus ECP son responsables de la enfermedad de las mucosas (EM) (Fagiolo et al., 2005). La forma no citopática es la más común en reses. Se reconocen dos especies de BVDV (BVDV-1 y BVDV-2). Una nueva especie putativa de pestivirus, tentativamente llamada "similar a HoBi", "BBVDV-3" o "pestivirus atípico", se identificó por primera vez en Europa en suero fetal bovino importado de Brasil (Bauermann et al., 2013). Se desconoce el origen de virus similares a HoBi. Una hipótesis es que se originaron en América del Sur y se introdujeron a otros continentes a través de productos biológicos contaminados, como suero fetal bovino y vacunas. Otra explicación es que la aparición de virus similares a HoBi en el ganado es resultado de un salto de especie huésped cruzando del búfalo de agua al bovino (*Bos*). La enfermedad causada por estos nuevos virus se asemeja a las presentaciones clínicas asociadas con la infección por BVDV (Bauermann et al., 2013). Este tipo de virus ha sido reportado en bovinos en Europa, Asia y en América (Brasil) (Villanueva et al., 2018).

Además de reses, otros rumiantes se infectan con el BVD incluyendo búfalos de agua. La alta prevalencia de BVDV en muchos países se cree que es consecuencia de la capacidad del noECP BVDV para establecer infecciones de por vida después de una infección en el útero al inicio de la gestación, generando así un reservorio de animales infectados persistentemente, que se vuelven inmunotolerantes y diseminan el virus (Brownlie et al., 1989). Este biotipo, es el que se aísla con mayor frecuencia, se caracteriza por transmisión vertical y es responsable de una circulación permanente. Su propagación, manifestación y distribución dependen de sus propiedades, formas de transmisión, estado inmunológico del animal, y factores de riesgo demográfico (Fagiolo et al., 2005).

Estudios en búfalos de agua en algunos países muestran seroprevalencias muy bajas, del 4.9% en el sudeste de Asia, o ausentes (Olmo et al., 2019), asumiendo que búfalos son menos susceptibles que los bovinos (*Bos*), sin embargo, son hatos pequeños y el riesgo de ser seropositivos estaba asociado al incremento en tamaño del hato o que no hay becerros permanentemente infectados. En contraste, la seroprevalencia en búfalos en 9 estados de la India fue del 23.2% (Sudharshana et al., 1999). Estudios en Australia de 1993 al 2001, describen también seroprevalencias bajas (4.5%) en búfalos, mostrando que son susceptibles, pero no identificaron animales persistentemente infectados (Evans et al., 2016). En 2009 se identificó en fetos abortados de búfalos el subgenotipo 1b en Italia (Martucciello et al., 2009). Reportes de Brasil describen evidencia serológica de la

presencia de BVDV en hatos de búfalos de agua de explotaciones de carne y leche, con dos diferentes situaciones epidemiológicas. La primera con seroprevalencias del 39.6 % al 51.3%, con títulos muy variables que siguieren infección activa, en hatos grandes, abiertos, con muchas prácticas de manejo. La segunda, con seroprevalencias bajas de 8.1% a 11.1%, poca variación de títulos, que sugieren una condición epidemiológica de estabilidad de la infección, pero en hatos pequeños, cerrados, con pocas prácticas de manejo y no introducción de nuevos reemplazos (Paixão et al, 2018a). Recientemente, se identificó por primera vez la infección activa por el subgenotipo 1b del BVDV en dos rebaños de búfalos lecheros de Brasil (Paixão et al., 2018b). Resulta de interés que se ha detectado el virus en suero fetal bovino procedente de Brasil, Australia, Canadá, Estados Unidos y México (Bauermann et al., 2013). Estudios en Argentina mostraron un alto nivel de positividad frente a BVDV-1 y BVDV-2. Se confirmó la existencia de búfalos persistentemente infectados en animales serológicamente negativos y la presencia de coinfección natural con dos subtipos diferentes; BVDV (1a y 1b) y con las especies virales BVDV-1 y BVDV-2 (Craig et al., 2015).

Los hallazgos clínicos están influenciados por factores del huésped como el estado inmunológico al BVDV (inmunocompetencia o inmunotolerancia), el período de gestación, y por el genotipo del BVDV involucrado. En los búfalos, los signos clínicos son leves en comparación con los del bovino (*Bos*), pero son similares en cronología. En un estudio en terneros de búfalo infectados

experimentalmente con BVDV, se describió aumento de temperatura de 40°C, secreción nasal y lagrimal y diarrea. Se observaron erosiones y/o úlceras en labios y almohadilla dental con congestión de mucosa nasal y de encías, leucopenia leve (neutropenia y linfopenia) que luego se convirtió en leucocitosis (neutrofilia) del día 15 al 32 (Fagiolo et al. 2005). La enfermedad se asocia tanto con infecciones agudas como persistentes y, dependiendo de las circunstancias epidemiológicas, puede manifestarse como brotes que afectan a un gran número de animales o como una incidencia baja y continua de casos en hatos con infección endémica. El impacto económico se debe a las pérdidas productivas y reproductivas: baja en producción de leche, tasa de concepción reducida, abortos, momificaciones de fetos, malformaciones congénitas, terneros débiles y aumento de la mortalidad (Lai et al., 2013).

Profilaxis. Los hallazgos de nuevos virus resaltan la importancia de que, así como en reses, también en búfalos de agua se deben intensificar las medidas de profilaxis para controlar la infección por BVDV, porque estas especies coexisten en diferentes países. La profilaxis principal es la prevención ya que no existe tratamiento. Lo más importante es una selección cuidadosa de reemplazos, diagnóstico adecuado y evitarse el contacto del hato con animales portadores. La prevención se centra en un buen manejo y un programa de vacunación, aunque solo se logra una protección parcial con las vacunas, en cualquier caso, reducirán la incidencia. Un programa de vacunación con virus vivo modificado o virus muerto

debe comenzar entre los cuatro y los seis meses de edad al finalizar la protección calostrual y repetirse antes de la reproducción. Debido a la ausencia de signos clínicos característicos (patognomónicos) asociados a BVDV, el diagnóstico se basa en la detección del virus en el laboratorio, de antígenos o de anticuerpos en serología, o en leche en hatos lecheros no vacunados (Lai et al. 2013).

Lengua Azul

La Lengua Azul (LA) es una enfermedad causada por un virus de la familia Reoviridae, género Orbivirus y transmitida biológicamente por cinco especies de mosquitos Culicoides, otros consideran que al menos 20 especies pueden ser vectores. No se transmite por contacto directo o indirecto entre animales en ausencia de estos insectos. Los huéspedes son todos los rumiantes domésticos y salvajes: ovejas, cabras, vacas, búfalos, dromedarios y rumiantes salvajes. El período de incubación varía de 4 a 20 días (Fagiolo et al., 2005, Saminatan, et al., 2020). Al 2020, se habían reportado 28 serotipos a nivel mundial, con serotipos putativos descritos recientemente (Maan et al., 2017; Saminatan, et al., 2020).

Epidemiología. La distribución de la LA está relacionada con la distribución del vector Culicoides. Puede introducirse en nuevas regiones mediante la importación de animales infectados, pero no sobrevivirá a menos que estén presentes vectores (Fagiolo et al. 2005). La LA se presenta como una enfermedad clínica en África, Oriente Medio, India, China, Estados Unidos, México y el sur de Europa.

También se han encontrado pruebas serológicas positivas en el sudeste de Asia, norte de Sudamérica, norte de Australia, las Islas Salomón y Nueva Guinea y, en búfalos, en Egipto, Botswana, Nueva Guinea e India, con seroprevalencias altas del 92% (Fagiolo et al 2005; Maan et al 2017). En México, existen antecedentes de seropositividad en bovinos (*Bos*), ovinos y venado cola blanca, en este último con seroprevalencias hasta del 81% pero sin brotes clínicos, indicando una estabilidad enzootica (Martinez et al., 1999), como ocurre en Texas con el 90% de seropositividad. El primer reporte de enfermedad clínica hemorrágica en venados en México corroborada por PCR fue descrita por Martinez-Burnes et al., en 2017. Sin embargo, no hay reportes en búfalos de agua.

Todos los rumiantes son susceptibles a la infección por LA, pero la enfermedad clínica se manifiesta con mayor frecuencia en ovejas; venado cola blanca y bovinos (*Bos*). En condiciones naturales, también puede estar presente en wapití, berrendo, antílopes africanos, ciervos, muflones, yak cautivo, camélidos y elefantes. La enfermedad se caracteriza por inflamación de las membranas mucosas, congestión, hinchazón y hemorragias. La infección es generalmente subclínica en reses y búfalos. Las ovejas son las más afectadas. La enfermedad puede ser variable y mostrar fiebre (42°C), emaciación, inflamación, úlceras y necrosis alrededor de la boca (encías, mejillas y lengua) y, en un pequeño porcentaje de casos, lengua cianótica, enrojecimiento y hemorragias de la banda coronaria (por encima de la pezuña) que provocan cojera. Abortos, malformaciones congénitas y, a veces,

neumonía. Las diversas reacciones de los búfalos a la infección podrían depender del serotipo, dosis infectante y de la especie involucrada que infecta al búfalo (Lai et al., 2013).

Profilaxis. En las zonas libres de enfermedad, la prevención consiste en la cuarentena, el estudio serológico y el control de vectores. En las zonas infectadas, la profilaxis sanitaria es mediante el control de vectores. Es posible una profilaxis mediante vacunación con vacuna de virus vivo modificado o polivalentes amortiguadas. Los serotipos incorporados a la vacuna deben ser los mismos que causan la infección en el campo. Se debe evitar la vacunación de ovejas preñadas debido al riesgo de anomalías fetales y abortos (Lai et al., 2013). Es una enfermedad de reporte obligatorio y su presencia o la de anticuerpos restringe la movilización o exportación a países libres.

Rabia

La rabia es una enfermedad infecciosa causada por un virus ARN envuelto de la familia *Rhabdoviridae* y del género *Lyssavirus* que afecta el sistema nervioso central (SNC) de varias especies de mamíferos (Fagiolo et al., 2005).

Epidemiología. La rabia es reportada comúnmente en bovinos (*Bos*), pero de manera infrecuente en búfalos de agua, o es desestimada. En estas especies, los principales transmisores son los murciélagos hematófagos, en particular *Desmodus rotundus*, que inoculan el virus presente en la saliva (Bianchi et al., 2017). Sin embargo, hay algunos países como la India que reportan casos en búfalos en los que se

asume que el virus de la rabia es transmitido por perros callejeros o mangostas rabiosas (Chandel et al., 2016). Los reportes en búfalos no son muy numerosos ya que se defienden bien de los animales rabiosos y en algunos países no se han reportado casos por transmisión por murciélagos como en bovinos (*Bos*). Sin embargo, la mortalidad de los búfalos es del 100 por ciento. La rabia se presenta en la mayoría de los países del mundo, excepto en las islas donde se garantizan rígidas medidas de cuarentena. El período de incubación es de casi tres semanas (Fagiolo et al., 2005).

En los últimos años, la epidemiología molecular y el diagnóstico de la rabia se han basado en el gen G. La glucoproteína G desempeña un papel importante en la patogenicidad y el neurotropismo viral. Basados en esto, se realizó el análisis filogenético del virus del búfalo en China en comparación con otros aislados de diferentes animales. Por inmunofluorescencia se confirmó la presencia de virus en encéfalo de un búfalo enfermo, se aisló y fue llamado cepa Hubei070308 y con secuenciación del gene G, se comprobó que el virus de la rabia tiene territorialidad, pero no es específico de especie. Se encontraron muchas sustituciones de aminoácidos en la proteína G entre los virus que se aislaron de diferentes especies animales o de la misma especie distribuida en diferentes regiones geográficas. Estos aminoácidos sustituidos pueden explicar por qué el virus de la rabia puede atravesar la barrera del huésped para infectar de una especie de animal de otra (Zhang et al., 2011). Existen algunos reportes de rabia en búfalos en Brasil en un hato de una zona considerada endémica de

rabia para bovinos (*Bos*), sin embargo, los casos fueron en animales jóvenes que solo habían recibido una primera vacuna contra el virus (Bianchi et al., 2017). En México, de acuerdo a cifras oficiales, no hay casos positivos a rabia en búfalos de agua de 1999 al 2020.

Hallazgos clínicos. Los signos en los búfalos se parecen a los del bovino (*Bos*). Se puede presentar una forma paralítica (babeo, rechinar de dientes, movimiento de la cola, anorexia, rigidez de patas traseras, parálisis y decúbito, muerte en dos o tres días) o una forma furiosa (hipersensibilidad, excitación sexual, disfagia, frotamiento o golpe de la frente contra el suelo y otros objetos inanimados como pesebres, bramidos fuertes, colapso y muerte (Lai et al., 2013). En reses o búfalos con signología clínica nerviosa con parálisis o ataxia, debe considerarse a la rabia en el diagnóstico inicial, y proceder de acuerdo a los lineamientos sanitarios de cada país al diagnóstico oficial por inmunofluorescencia, histopatología, inoculación de ratones o técnicas moleculares (Bianchi et al., 2017).

Profilaxis. En aquellos países en los que se considera que la rabia es transmitida por mordedura de caninos o fauna, se debe controlar la fauna silvestre alrededor de las explotaciones de animales y la vacunación de perros y gatos (Sharma y Kumar, 2003). En países con presencia de murciélago hematófago como en Sudamérica, Centroamérica y México, se deben seguir campañas de vacunación de hatos bovinos (*Bos*) y de búfalos, así como control oficial de poblaciones de murciélagos con presencia del virus. No solo para

evitar pérdidas en la ganadería, también por tratarse de una importante zoonosis.

Fiebre Efímera Bovina

La Fiebre Efímera Bovina (FEB), también conocida como “Enfermedad de los tres días o Fiebre de tres días) es una enfermedad viral transmitida por artrópodos del bovino y el búfalo. Es causada por un virus del género Ephemerovirus de la familia Rhabdoviridae, que se manifiesta clínicamente por la aparición repentina de fiebre, cojera, rigidez y recuperación espontánea en tres días (Sharma y Kumar, 2003; Lee, 2019).

Epidemiología. El virus de la FEB se transmite por picadura de insectos, en particular mosquitos, principalmente *Culex annulirostris*, sin embargo, el virus se ha aislado en 8 especies de mosquitos chupadores *Culicoides*. Las condiciones climáticas influyen en la distribución de los insectos y el patrón de propagación de la enfermedad y el tiempo de aparición. Por lo que, la mayoría de los casos ocurren en condiciones cálidas y húmedas. Las regiones subtropicales y templadas de África, Asia, Australia y Medio Oriente han tenido las principales epidemias de FEB. La enfermedad es desconocida en Nueva Zelanda, Europa y las Américas (Akakpo, 2015). La mortalidad es baja, (1 al 2%), pero hay reportes de mortalidades o sacrificio de hasta el 10 al 20%, aunque la morbilidad es considerable (100%), que conlleva a enormes pérdidas económicas en la producción, disrupción del comercio nacional e internacional que genera una variedad de complicaciones y que han

llamado la atención sobre esta enfermedad (Fagiolo et al., 2005; Akakpo, 2015).

Hallazgos clínicos. Inicio repentino con fiebre (41°C) y caída severa en la producción de leche. Se puede presentar aborto en etapas avanzadas de gestación. Los animales dejan de comer y beber, se deprimen, con babeo y secreción nasal. Se puede afectar el reflejo de deglución y resultar en broncoaspiración de comida o agua y desarrollarse neumonía. También cojera, postura típica de laminitis e hinchazón muscular en hombros, espalda y cuello y la artritis con exudado serofibrinoso es característico de la enfermedad (Akakpo, 2015). También se manifiestan temblores, rigidez y movimientos musculares clónicos (Sharma y Kumar, 2003). Para el tercer día, el animal afectado suele estar de pie nuevamente y comenzará a comer. Sin embargo, la cojera y la debilidad pueden durar otros dos o tres días. Los adultos son más afectados que los menores de seis meses. La producción de leche debería volver casi a la normalidad después de tres semanas, pero las vacas afectadas al final de la lactancia a menudo se secan. A veces se desarrolla mastitis.

Profilaxis. Los toros y vacas de alta producción deben recibir tratamiento de apoyo para reducir temperatura y antibióticos de amplio espectro para prevenir complicaciones bacterianas secundarias. El ganado puede ser vacunado a partir de los seis meses de edad y luego debe ser revacunado para asegurar su protección (Lai et al., 2013). La FEB es una enfermedad bovina subvalorada y

subnotificada, por lo que, para mejorar la visibilidad de los brotes de FEB a nivel mundial, se alienta a que se incluya como una de las enfermedades enumeradas por la Organización Mundial de Sanidad Animal, como una enfermedad de declaración obligatoria, lo que facilitará no solo la notificación, sino también la evaluación de la eficacia de la vacuna y el desarrollo de métodos de diagnóstico (Lee et al., 2019). Aunque la epizootiología se ha estudiado ampliamente en algunas regiones, se sabe poco sobre la distribución, prevalencia e impacto en vastas áreas de África y Asia, se han recuperado y secuenciado pocos aislamientos de virus y los vectores específicos no están claramente definidos en todo el mundo. Esto limita la capacidad para evaluar la importancia relativa y el riesgo de propagación por la dispersión de vectores por el viento sobre todo por el cambio climático y la translocación a través del movimiento de ganado, y evaluar el potencial de establecimiento como una enfermedad enzoótica en Europa o América a través de la transmisión local por vectores (Walker y Klement, 2015).

Viruela del búfalo

El virus de viruela del búfalo (BuffaloPox)(BPXV) es miembro del género Orthopoxvirus(OPXV), subfamilia Chordopoxvirinae, familia Poxviridae. BPXV es una variante cercana del virus vaccinia o vacuna. Los datos recientes del genoma muestran que BPXV comparte un ancestro común más reciente de la cepa VACV Lister, que se había utilizado para inocular terneros de búfalo para producir una vacuna contra la viruela. Con el tiempo, VACV evolucionó a BPXV al

establecerse en búfalos para ser cada vez más patógeno para este huésped y producir infecciones en ganado y humanos (Eltom et al., 2020).

Epidemiología. El primer aislamiento del virus se realizó en India en 1967 y el virus continuó causando brotes esporádicos en búfalos asiáticos en Bangladesh, India, Indonesia, Pakistán, Egipto, Rusia e Italia (Esbauer et al., 2010). El mismo año, la enfermedad fue reconocida por el Comité Mixto FAO / OMS de Expertos en Zoonosis como una enfermedad zoonótica importante (FAO, 1967). Cuarenta años después, el virus de la viruela del búfalo se convirtió en una enfermedad zoonótica viral contagiosa emergente que infecta a los ordeñadores con alta morbilidad (80%) (Eltom et al., 2020). Por lo que la epidemiología del virus de la viruela del búfalo debe reconsiderarse a más de 30 años después del cese de las campañas de erradicación de la viruela humana.

Hallazgos clínicos. Los signos clínicos de viruela del búfalo se parecen a los de las infecciones por VACV. Los signos característicos incluyen un exantema local (pustulación con necrosis central) y lesiones en el hocico, ubre, pezones, interior de muslos, escroto, orejas y ojos en la forma suave. También puede evolucionar hacia forma sistémica grave de patrón cíclico con lesiones generalizadas en casos individuales (Eltom et al., 2020). La morbilidad puede ser muy alta (70%) pero la mortalidad es baja (Lai et al., 2013).

Aunque la enfermedad no ocurre con mucha frecuencia, es económicamente importante en los países donde se crían búfalos. Tiene un impacto negativo en la industria láctea como consecuencia de la reducción del 40 al 70% en la productividad de los animales de ordeño cuando afectan la ubre y los pezones, lo que puede provocar mastitis (Lai et al., 2013; Eltom et al., 2020). Los seres humanos en contacto cercano con los animales afectados pueden infectarse con el virus, manifestando lesiones de viruela en los antebrazos, mano, dorso de las manos, dedos de la muñeca y pulgares, área preauricular derecha, ángulo recto de mandíbula, ala derecha de nariz y frente con o sin hinchazón de nódulos linfáticos regionales, malestar general y fiebre (Eltom et al., 2020).

Profilaxis. No se dispone de una vacuna específica contra la infección por BPXV. Sin embargo, el control profiláctico y la protección de los animales en un hato infectado es posible con una vacuna viva basada en una cepa VACV atenuada. Con el tiempo, BPXV evolucionó a partir de VACV y se estableció en los búfalos para ser cada vez más patógeno, y además para producir infecciones en el ganado y los seres humanos. Junto con la pandemia actual de SARS-COV2 / COVID 19, las infecciones por BPXV en India ilustran cuán vulnerable es la población humana a la aparición y reaparición de patógenos virales de fuentes insospechadas. Se están notificando incidencias cada vez mayores de infecciones por OPXV en todo el mundo: BPXV en Asia, VACV y virus similares a VACV (VLV) en Brasil (de Sousa Trindade et al., 2003), MPXV en África Oriental y Central y los EE. UU., AKPV, OPXV similar a ECTV,

que se describen a un ritmo creciente (Eltom et al., 2020). La aparición y la reaparición de estos OPXV son alarmantes si se tiene en cuenta que alrededor del 50% de la población mundial mayor de 30 años no está vacunada contra la viruela y es más vulnerable en caso de reaparición de esta enfermedad.

CONSIDERACIONES FINALES

Aunque se considera que por su rusticidad y sus características anatómicas y fisiológicas los búfalos de agua son mas resistentes a ciertas enfermedades comparados con los bovinos del género *Bos*, sin embargo, como se ha descrito en esta revisión, el búfalo puede ser igualmente susceptible a ciertas enfermedades virales, en algunos casos el tipo de presentación clínica puede ser diferente, desde una forma más leve o subclínica o en ocasiones de forma más severa que en el ganado bovino (*Bos*).

Un aspecto importante que debe considerarse en la epidemiología de las enfermedades virales es que el búfalo se encuentra generalmente en zonas tropicales, en áreas anegadas, lo que facilita las condiciones de humedad y calor necesarias para el desarrollo de patógenos o el desarrollo de vectores que transmiten y causan graves enfermedades.

La movilización e introducción de búfalos de un continente o país a otro, así como de productos biológicos, ha demostrado que puede ser fuente de diseminación de enfermedades virales que son consideradas exóticas para algunos países, como sucede con la Fiebre Aftosa y la Peste Bovina. Es sumamente importante considerar estas

enfermedades en el diagnóstico diferencial de procesos febriles, ulcerativos y erosivos en el búfalo de agua, ya que son de reporte obligatorio y seguir considerando todas las medidas y estrategias para evitar la reaparición de estas enfermedades o su ingreso a diferentes países. Como se mencionó, América Latina es la región de mayor crecimiento en hatos de búfalos, por lo que la introducción de hatos, reemplazos o biológicos de otros países representa un riesgo latente.

Otro aspecto de gran relevancia es el efecto del cambio climático en las poblaciones de vectores que transmiten enfermedades virales de gran impacto en la salud animal y pública. Como sucede con las enfermedades por *Orbiviruses* como la Lengua Azul.

Hay enfermedades virales consideradas como impredecibles, a veces se producen casos en animales que estuvieron expuestos a portadores, pero sin incidentes durante años o casos aislados como la Fiebre Catarral Maligna. E inclusive en áreas con seroprevalencias muy altas de anticuerpos, pero con mortalidades bajas, o que requieren factores predisponentes o estresantes como en los casos de Lengua Azul, BHV-1 y la Diarrea Viral Bovina en búfalos, en las que se describe una estabilidad enzootica.

El descubrimiento de nuevas variantes de virus que pueden pasar del bovino (*Bos*) al búfalo o viceversa o al humano, ha puesto de manifiesto la relevancia de que los virus cruzan la barrera de huéspedes. Junto con la pandemia mundial actual de SARS-COV2 / COVID 19, las infecciones por viruela del búfalo (*Poxvirus* del búfalo)

en algunos países, ilustran la vulnerabilidad de la población humana a la aparición y reaparición de patógenos virales de fuentes insospechadas. Es necesario seguir actualizando la información de investigaciones sobre cepas del Coronavirus que inclusive existen en el búfalo y el potencial riesgo de desarrollo de nuevas variantes por el cruce o salto de las barreras de especies huéspedes. Por lo que la epidemiología de las enfermedades virales del búfalo se deberá reconsiderar y actualizar constantemente para su aplicación a mejores programas de prevención y control. Deberá considerarse la relación e interacción del búfalo en explotación compartida con otras especies, con patógenos y con el medio ambiente, de manera integral en el concepto de salud-enfermedad.

REFERENCIAS

- Akakpo, A.J., 2015. Three-day fever. *Rev. Sci. Tech.*, 34, 533–538.
- Angulo, R. A., Noguera, R. R, Berdugo, J. A., 2005. El búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) un eficiente utilizador de nutrientes: aspectos sobre fermentación y digestión ruminal. *Livest. Res. Rural Develop.* 17, Art. #67. <http://www.lrrd.org/lrrd17/6/angu17067.htm>
- Aumenta en México crianza del búfalo de agua. BM Editores. Mayo 15, 2020, <https://bmeditores.mx/ganaderia/aumenta-en-mexico-crianza-del-bufalo-de-agua/>

- Bauermann, F. V., Ridpath, J. F., Weiblen, R., Flores, E. F., 2013. HoBi-like viruses: an emerging group of pestiviruses. *J. Vet. Diag. Invest.: official publication of the American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians, Inc*, 25(1), 6–15. <https://doi.org/10.1177/1040638712473103>
- Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Morales, A., Orozco, C., Mota-Rojas, D., 2019. Capítulo 7. Los sistemas de producción de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). *El búfalo de agua en las Américas* (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J., Legarreta, I.G., 2020. Similarities and differences between river buffaloes and cattle : health, physiological, behavioral and productivity aspects. *J. Buffalo Sci.* 9, 92-109. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.12>
- Bianchi, R.M., Panziera, W., Galiza, G. J. N., Kommers, G.D., Fighera, R. A., 2017. Rabies outbreak in buffaloes in Rio Grande do Sul, Brazil. *Ciência Rural*, 47(4), e20160523. Epub February 16, 2017. <https://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160523>
- Biswal, J.K., Ranjan, R., Subramaniam, S., Mohapatra, J.K., Patidar, S., Sharma, M.K., Miranda, R. B., Brito, B., Rodriguez, L.L, Pattnaik, B., Arzt, J., 2019. Genetic and antigenic variation

of foot-and-mouth disease virus during persistent infection in naturally infected cattle and Asian buffalo in India. PLoS ONE 14(6): e0214832. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214832>

Blacksell, S.D, Siengsan-Lamont, J., Kamolsiripichai, S., Gleeson, L.J., Windsor, P.A., 2019. A history of FMD research and control programmes in Southeast Asia: lessons from the past informing the future. *Epidemiology and Infection* 147, e171, 1–13. <https://doi.org/10.1017/S0950268819000578>

Brownlie, J., Clarke, M. C., Howard, C. J., 1989. Experimental infection of cattle in early pregnancy with a cytopathic strain of bovine virus diarrhoea virus. *Res. Vet. Sci.* 46(3), 307–311.

Calderón, A., Tique, V., Ensuncho, C., Rodríguez, V., 2010. Seroprevalencia de *Brucella abortus* en búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) en el municipio de Lorica, Córdoba, *Rev. U.D.C.A.* 13 (2) 125-132.

Caruso, C., Prato, R., Ingravalle, F., Vecchio, D., Sciarra, A., Ternavasio, M., Ceccarelli, L., Martucciello, A., Galiero, G., Carlo, E.D., & Masoero, L., 2016. Prevalence of antibodies against Bubaline herpesvirus (BuHV-1) among Mediterranean water buffalo (*Bubalus bubalis*) with implications in buffalo trade. *Vet. Quarterly*, 36, 184 - 188.

Chandel, B. S., Patel, A. C., Dadawala, A. I., Chauhan, H. C., Parsani, H. R., Shrimali, M. D., Raval, S. H., 2016. Confirmation of rabies

in buffalo from organized farm of north Gujarat. Buffalo Bull. 35(4), 661-666

Costa, E.A., Bastianetto, E., Vasconcelos, A.C., Bomfim, M.R.Q., Fonseca, F.G., Gomes, A.D., Leite, R.C., Resende, M., 2009. An outbreak of malignant catarrhal fever in Murrah buffaloes in Minas Gerais, Brazil. *Pesquisa Vet. Brasileira* 29(5),395-400.

Craig, M.I., König, G.A. Benitez, D.F. Draghi, M.G., 2015. Molecular analyses detect natural coinfection of water buffaloes (*Bubalus bubalis*) with bovine viral diarrhoea viruses (BVDV) in serologically negative animals, *Revista Argentina de Microbiología*,47: 2,148-151, <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.03.001>.

de Souza Trindade, G., da Fonseca, F.G., Marques, J.T., Nogueira, M.L., Mendes, L.C., Borges, A.S., Peiro, J.R., Pituco, E.M., Bonjardim, C.A., Ferreira, P.C., et al. 2003 Aracatuba virus: A vaccinia-like virus associated with infection in humans and cattle. *Emerg. Infect. Dis.* 9, 155–160.

Domínguez A. G., Romero S. D., Martínez H. D., García V. Z., 2013. Los búfalos de agua y las enfermedades infecciosas. *Revista La Ciencia y el Hombre*, 25, 1-14.

Eltom, K. H., Samy, A. M., Abd El Wahed, A., & Czerny, C. P., 2020. Buffalopox Virus: An Emerging Virus in Livestock and

- Humans. Pathogens (Basel, Switzerland), 9(9), 676.
<https://doi.org/10.3390/pathogens9090676>
- Essbauer, S., Pfefer, M., Meyer, H., Zoonotic poxviruses, 2010. Vet. Microbiol. 140, 229–236.
- Evans, C., Cockcroft, P. and Reichel, M., 2016. Antibodies to bovine viral diarrhoea virus (BVDV) in water buffalo (*Bubalus bubalis*) and cattle from the Northern Territory of Australia. Aust. Vet. J. 94: 423–426. <https://doi.org/10.1111/avj.12517>
- Fagiolo A, Roncoroni C, Lai O, Borghese A. Chapter XIII: buffalo pathologies. In: Borghese A, editor. Buffalo Production and Research. Rome: FAO (2005). 249–296.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization (FAO/WHO). *Joint FAO/WHO Expert Committee on Zoonoses Third Report*; FAO and WHO: Geneva, Switzerland, 1967.
- Fusco, G., Amoroso, MG., Aprea, G., Veneziano, V., Guarino, A., Galiero, G., Viscardi, M., 2015. First report of natural BoHV-1 infection in water buffalo. Vet. Rec. 177, 152.
- Gomes, I., Ramalho, A.K., De Mello, P.A., 1997. Infectivity assays of foot-and-mouth disease virus: contact transmission between cattle and buffalo (*Bubalus bubalis*) in the early stages of infection. Vet. Rec. 11, 140 (2), 43–47.

- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. 2019a. El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales. Segunda edición. México, Editorial BM Editores. Ciudad de México. p.p. 1-881.
- Guerrero-Legarreta, I., Mota-Rojas, D., Ramírez-Bribiesca, E., Mora-Medina, P., Cruz-Monterrosa, R., Berton, A., José, P.N., Torres, F., Ramírez, N.R. Álvarez-Macías, A., 2019b. Capítulo 6. El búfalo de agua productor de carne por el mundo: indicadores productivos y sanitarios. In: Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., & Orihuela, A. (Ed.), El búfalo de agua en las Américas. México. BM Editores. pp. 193-224.
- Headley, S.A., de Oliveira, T.E.S., Cunha, C.W., 2020. A review of the epidemiological, clinical, and pathological aspects of malignant catarrhal fever in Brazil. *Braz J Microbiol.* 51, 1405–1432 <https://doi.org/10.1007/s42770-020-00273-6>
- Hill, F.I., Arthur, D.G., Thompson, J., 1993. Malignant catarrhal fever in a swamp buffalo (*Bubalus bubalis*) calf in New Zealand. *N. Z. Med. J.* 41, 35-38.
- Hoffmann, D., Soeripto, S., Sobironingsih, S., Campbell, R.S., Clarke, B.C., 1984. The clinico-pathology of a malignant catarrhal fever syndrome in the Indonesian swamp buffalo (*Bubalus bubalis*). *Aust. Vet. J.* Apr;61(4), 108-12. doi: 10.1111/j.1751-0813.1984.tb07201.x. PMID: 6540080.

- Lage, A. P., Castro, R. S., Melo, M. I., Aguiar, P. H., Barreto Filho, J. B., Leite, R. C., 1996. Prevalence of antibodies to bluetongue, bovine herpesvirus 1 and bovine viral diarrhoea/mucosal disease viruses in water buffaloes in Minas Gerais State, Brazil. *Revue d'elevage et de medecine veterinaire des pays tropicaux*, 49(3), 195–197.
- Lai, O., Roncoroni, C., Saralli, G., Zottola, T., Fagiolo, A., 2013. Pathologies, In: Borghese, A. Buffalo Livestock and Products. Ed. Rome, Italy, 311-366. ISBN: 978-88-97081-27-2, 511311-366.
- Lee, F., 2019. Bovine Ephemeral Fever in Asia: Recent Status and Research Gaps. *Viruses*, 11(5), 412. <https://doi.org/10.3390/v11050412>
- Maan, S., Tiwari, A., Chaudhary, D., Dalal, A., Bansal, N., Kumar, V., Batra, K., Kumar, A., Kakker, N., Maan, N.S., 2017. A comprehensive study on seroprevalence of bluetongue virus in Haryana state of India, *Vet. World*. 10(12), 1464-1470.
- Maidana, S.S., Konrad, J.L., Craig, M.I., Zabal, O., Mauroy, A., Thiry, E., Crudeli, G., Romera, S. A., 2014. First report of isolation and molecular characterization of bubaline herpesvirus 1 (BuHV1) from Argentinean water buffaloes. *Arch. Virol.* 159, 2917–2923 (2014). <https://doi.org/10.1007/s00705-014-2146-8>

- Martínez-Burnes, J., Barrios-García, H.,Alva-Pérez, J., Ramírez-Romero, R., Luis J. García-Márquez, L.J., López-Mayagoitia, A., 2017. Bluetongue in white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) in Northeastern Mexico. *Braz. J. Vet. Pathol.* 10(3), 132 – 135. <https://doi.org/10.24070/BJVP.1983-0246.V10I3P132-135>
- Martinez, A., Salinas, A., Martinez, F., Cantu, A.,Miller, D.K., 1999. Serosurvey for Selected Disease Agents in White-tailed Deer from Mexico. *J. Wildl. Dis.* 35 (4), 799–803. doi: <https://doi.org/10.7589/0090-3558-35.4.799>
- Martínez, D., Jacobo, R., Cipolini, M., Martínez, E., 2006. Brucelosis en búfalos del noroeste de la provincia de Corrientes provincia de Corrientes Argentina. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas* 1 (1), 1-3.
- Martucciello, A., Giammarioli, M., Immacolata,D., Giuseppe,I.,Giorgio,G., 2009. Detection of Bovine Viral Diarrhea Virus from Three Water Buffalo Fetuses (*Bubalus Bubalis*) in Southern Italy. *J. Vet. Diagnos. Invest.* 21, 137-40. [10.1177/104063870902100123](https://doi.org/10.1177/104063870902100123).
- Minervino, A., Zava, M., Vecchio, D., Borghese, A., 2020. *Bubalus bubalis*: A Short Story. *Frontiers in Vet. Sci.* 7, 570413. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.570413>
- Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A., Martínez-Burnes, J., Álvarez-Macías, A., Orihuela, A., 2020. Thermal biology in river buffalo in the humid

tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. J. Anim. Behav. Biometeorol. 9,2103. <https://doi.org/10.31893/jabb.21003>

Motta-Giraldo, J.L., Clavijo-Hoyos, J.A., Waltero- García, I, Abeledo, M.A., 2014. Prevalencia de anticuerpos a *Brucella abortus*, *Leptospira* sp. y *Neospora caninum* en hatos bovinos y bubalinos en el Departamento de Caquetá, Colombia³. Rev. Salud Animal, 6(2), 80-89. Recuperado en 12 de enero de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-570X2014000200002&lng=es&tlng=es.

Munchow, G. and Pisarz, M., 1994. Epidemiological studies of some economical significant infectious diseases in water buffaloes in the central Amazon region, Brazil. Proc. Fourth World Buffalo Congress, 27-30 June, Sao Paulo, Brazil, Vol II, 353-355.

O'Toole D., Li, H., 2014. The pathology of malignant catarrhal fever, with an emphasis on ovine herpesvirus 2. Vet. Pathol. 51(2),437–452

Obi, T.U., Roeder, P.L., Geering, W.A., 1999. Chapter 2. Nature of the disease. Manual on the preparation of Rinderpest Contingency Plans. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

OIE web portal on rinderpest: www.oie.int/en/for-the-media/. Retrieved January 18, 2021, from [rinderpest/https://www.oie.int/en/animal-health-in-the-world/technical-disease-cards/](https://www.oie.int/en/animal-health-in-the-world/technical-disease-cards/)

Olmo, L., Reichel, M.P., Nampanya, S., Khounsy, S., Wahl, L.C., Clark, B.A., Thomson, P.C., Windsor, P.A., Dush, R.D., 2019. Risk factors for *Neospora caninum*, bovine viral diarrhoea virus, and *Leptospira interrogans* serovar Hardjo infection in smallholder cattle and buffalo in Lao PDR. PLoS ONE 14(8), e0220335. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220335>

Paixão, S. F., Fritzen, J., Alfieri, A. F., & Alfieri, A. A., 2018a. Virus neutralization technique as a tool to evaluate the virological profile for bovine viral diarrhea virus infection in dairy water buffalo (*Bubalus bubalis*) herds. Tropical Anim. Health Prod. 50(4), 911–914. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1503-5>

Paixão, S. F., Fritzen, J., Crespo, S., de Moraes Pereira, H., Alfieri, A. F., Alfieri, A. A., 2018. Bovine viral diarrhea virus subgenotype 1b in water buffalos (*Bubalus bubalis*) from Brazil. Tropical Anim. Health Prod. 50(8), 1947–1950. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1625-4>

Romero-Salas, D., Alvarado-Esquivel, C., Domínguez-Aguilar, G., Romero, A., Ibarra-Priego, N., Barrientos-Salcedo, C., Aguilar-Domínguez, M., Canseco-Sedano, R., Espín-Iturbe,

- L. T., Sánchez-Anguiano, L. F., Hernández-Tinoco, J., de León, A., 2017. Seroepidemiology of Infection with *Neospora Caninum*, *Leptospira*, and Bovine Herpesvirus Type 1 in Water Buffaloes (*Bubalus Bubalis*) in Veracruz, Mexico. *European Journal of Microbiology & Immunology*, 7(4), 278–283. <https://doi.org/10.1556/1886.2017.00029>
- Romero-Salas, D., Aguilar-Domínguez, M., Ibarra-Priego, N., Barradas-Piña, F.T., Domingues, L., Castro-Arellano, I, Lohmeyer, K., Pérez de León, A., 2018. Seroepidemiology of bovine herpes virus-1 infection in water buffaloes from the state of Veracruz, Mexico. *Tropical Biomedicine*. 35, 541-552.
- Saminathan, M., Singh, K. P., Khorajiya, J. H., Dinesh, M., Vineetha, S., Maity, M., Rahman, A. F., Misri, J., Malik, Y. S., Gupta, V. K., Singh, R. K., & Dhama, K., 2020. An updated review on bluetongue virus: epidemiology, pathobiology, and advances in diagnosis and control with special reference to India. *Vet. Quarterly* 40(1), 258–321. <https://doi.org/10.1080/01652176.2020.1831708>
- Samrath, D., Shakya, S., Rawat, N., Gilhare, V.R., Singh, F.V., Khan, F., 2016. Seroprevalence of bovine herpes virus type 1 in cattle and buffaloes from Chhattisgarh. *J. Anim. Res* 6, 641-644.

- Scicluna, M.T., Caprioli, A., Saralli, G., Manna, G., Barone, A., Cersini, A., Cardeti, G., Condoleo, R.U., Autorino, G.J., 2010. Should the domestic buffalo (*Bubalus bubalis*) be considered in the epidemiology of Bovine Herpesvirus 1 infection?. *Veterinary Microbiology*, 143, 1, 81-88, <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2010.02.016>.
- Scicluna, M.T., Saralli, G., Bruni, G., Sala, M., Cocumelli, C., Caciolo, D., Condoleo, R.U., Autorino, G.L., 2007. Epidemiological situation of Herpesvirus infections in buffalo herds: Bubaline Herpesvirus1 or Bovine Herpesvirus1? *Italian J. Anim. Sci.* 6:sup2, 845-849, DOI: 10.4081/ijas.2007.s2.845
- Sharma, M.C., Mahesh Kumar, M., 2003. Infectious diseases of buffaloes. *Proc. Fourth Asian Buffalo Congress*, 25-28 Feb., New Delhi, India: 152-168.
- Sharma, R.D., Rakha, N.K., Nichani, A.K. and Malhotra, D.V., 2001. Modern strategies for the control of important livestock diseases. *Sustainable Animal Production*. Eds: Singh and Khanna SSARM, CCS HAU, Hisar: 109-118.
- Singh, B. P., Sharma, M.C., Tiwari, R., 2007: Effect of Foot and Mouth Disease (FMD) vaccination in linkage villages of IVRI's India. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 19, Article #119. <http://www.lrrd.org/lrrd19/8/sing19119.htm>

- Spickler, A. R., 2019. Malignant Catarrhal Fever. Retrieved from <http://www.cfsph.iastate.edu/DiseaseInfo/factsheets.php>
- Sudharshana, K.J., Suresh, K.B., Rajasekhar, M. 1999., Prevalence of bovine viral diarrhoea virus antibodies in India. Rev. sci. Tech. Off. Int. Epiz., 18:3, 667-671.
- Sunil-Chandra, N.P., 2000. Viral infections of buffaloes. Rotaviruses and herpes viruses. Proc. of the Third Asian Buffalo Congress on the Changing Role of the Buffalo in the New Millennium in Asia, Sri Lanka, 27-31 Mar.: 255-261.
- Teankam K, Tantilertcharoen R, Boonserm T, Suadsong S, Banlunara W., 2006. Malignant catarrhal fever in swamp buffaloes (*Bubalus bubalis*): a retrospective pathological study of outbreaks in Thailand. Thai J. Vet. Med. 36:19–30
- Tham K.M., 1997. Molecular and clinicopathological diagnosis of malignant catarrhal fever in cattle, deer and buffalo in New Zealand. Vet. Rec. 141:303-306.
- Villanueva, M.A., Mingala, C.N., Tubalinal, G.A.S., Gaban, P.B.V., Nakajima, C., Suzuki. Y., 2018. Emerging infectious diseases in water buffalo: An economic and public health concern. Doi: 10.5772/intechopen.73395 fagiolo et al 2''5=
- Walker, P. J., Klement, E., 2015. Epidemiology and control of bovine ephemeral fever. Vet. Res. 46, 124. <https://doi.org/10.1186/s13567-015-0262-4>

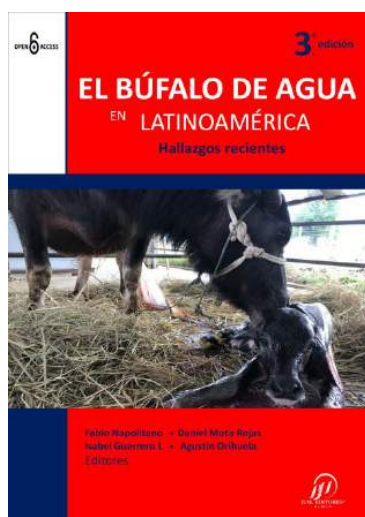
Zhang, K. S., Guo, J. H., Xu, Z. F., Xiang, M., Wu, B., Chen, H. C., 2011.
Diagnosis and molecular characterization of rabies virus
from a buffalo in China: a case report. Virology J. 8, 101.
<https://doi.org/10.1186/1743-422X-8-101>



CAPÍTULO 21

"HALLAZGOS RECIENTES DEL PROCESO SALUD-ENFERMEDAD EN BÚFALO DE AGUA
(*BUBALUS BUBALIS*)" ENFERMEDADES BACTERIANAS Y PARASITARIAS

Hugo Barrios-García, Jorge Alva-Pérez, Belkis Corona-González, Dasiel Obregón
Alvarez y Julio Martínez-Burnes



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3^a. Edición

CAPÍTULO 21

"Hallazgos recientes del proceso salud-enfermedad en búfalo de agua (*Bubalus bubalis*)" Enfermedades bacterianas y parasitarias

Hugo Barrios-García¹, Jorge Alva-Pérez¹, Belkis Corona-González², Dasiel Obregón Alvarez³ y Julio Martínez-Burnes¹

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México.

²Laboratorio de Hemoparásitos. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Cuba.

³Departamento de Medicina Veterinaria Preventiva, Universidad Agraria de la Habana (UNAH), Cuba.

ENFERMEDADES BACTERIANAS

El búfalo de agua posee la capacidad de adaptación a condiciones ambientales adversas, sobre todo aquellas típicas de clima tropical húmedo (Guerrero-Legarreta et al., 2019a; Mota-Rojas et al., 2020) donde predominan elevadas temperaturas y suelos con drenaje deficiente, lo que ha favorecido su expansión en todo el continente americano desde su reciente introducción a finales del siglo XIX en el Caribe y Brasil. Las condiciones medioambientales de humedad y calor son características idóneas para el crecimiento de microorganismos, los cuales pueden tener efectos adversos en la salud de esta especie animal (Gutiérrez et al., 2006; Mendes y De Lima 2011; Mitat, 2011; Guerrero-Legarreta et al., 2019b).



Generalmente el búfalo de agua tiene bajos índices de mortalidad y alta resistencia a patógenos, por lo que tiene menor susceptibilidad al desarrollo de enfermedades comúnmente observadas en otros bóvidos (Harsojo y Sari, 2015). Sin embargo, son susceptibles a varios agentes infecciosos bacterianos que también afectan al bovino tradicional, por lo que pueden padecer varias enfermedades infecciosas y parasitarias tales como la brucelosis, tuberculosis, paratuberculosis, leptospirosis y septicemia hemorrágica principalmente. Además, hay otros reportes indicando enteritis causadas por *E. coli* y *Salmonella* sp., y se han registrado casos de mastitis clínica y subclínica por diversos patógenos (Islam et al., 2016). Por otro lado, aunque los búfalos son resistentes a la forma clínica de varias enfermedades, estos pueden servir como reservorios de varios patógenos, facilitando el contagio de otras especies susceptibles, fundamentalmente el ganado bovino del género *Bos* (Bertoni et al., 2020). En este capítulo abordaremos la situación epidemiológica de las enfermedades infecciosas en los rebaños bubalinos a nivel mundial, sobre todo en América, mientras que contextualizaremos resultados de recientes investigaciones científicas sobre el tema en la región.

Brucelosis

Por su impacto zoonótico a nivel mundial, se confiere una atención especial a la brucelosis, la cual está considerada como una enfermedad infecciosa contagiosa inducida por una bacteria Gram

negativa del género *Brucella* (Tittarelli et al., 2015). Las brucelas son patógenos intracelulares que se localizan en tejidos linforreticulares y causan principalmente pérdidas reproductivas en huéspedes naturales. *Brucella* utiliza múltiples mecanismos moleculares para favorecer la patogénesis (Gyles et al., 2008). La brucelosis en el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) generalmente es causada por *Brucella abortus* (Mohan, 1968), pero también hay reportes de la presencia de *Brucella melitensis* (Fraulo y Galiero, 1999). En los búfalos se han identificado los biotipos 1, 3 y 6 de *B. abortus* y en menor frecuencia el biotipo 7; de *B. melitensis* solo los biotipos 1 y 2 (Fraulo y Galiero, 1999). Se sugiere que el biotipo 1 de *B. abortus* es el que se aísla con mayor frecuencia en búfalos (Costa, 2002). Los búfalos de agua suelen ser más resistentes a la brucelosis que el ganado bovino (*Bos*); en pruebas de desafío se requirió una mayor concentración bacteriana para inducir una seroconversión detectada por pruebas de tarjeta rosa de bengala (RBPT), lo que sugiere que la dosis infectante es mayor para el búfalo de agua (Fosgate et al., 2011).

Epidemiología. La brucelosis se ha reportado en búfalos en muchos países, desde África, Asia central, sur de Europa y hasta América (Paradiso et al., 2018). En un estudio realizado en Pakistán, se describió una prevalencia de brucelosis del 26.08% por aislamiento bacteriológico en la leche de búfala y una seropositividad de 13.9 y 15.4% utilizando RBPT e i-ELISA respectivamente (Khan et al., 2020). En Tanzania se reportó una prevalencia de 7.9% (Assenga et al., 2015). En Europa y principalmente en Italia, se ha reportado una alta

prevalencia de brucelosis (Tittarelli et al., 2015). En América se ha reportado en búfalos de Argentina, Brasil, Costa Rica, Colombia y México entre otros (Villanueva et al., 2018; dos Santos et al., 2017). En Argentina y Brasil se ha confirmado *B. abortus* por aislamiento (Megid et al., 2005; Samartino, 2002). En Colombia utilizando la RBPT y ELISA reportaron una seroprevalencia a *B. abortus* del 12% y 3% respectivamente (Calderón et al., 2010). En Venezuela se reportan prevalencias de 51.25% de reactores con Rosa de Bengala (Roasales-Zambrano, et al 2015). En México se identificó una seroprevalencia del 17.7% contra *B. abortus* en búfalos de agua de Veracruz y Tabasco por ELISA (García, 2018).

Hallazgos clínicos. La transmisión de *B. abortus* es por vía oral por alimentos contaminados o secreciones de fetos abortados y genitales. La proliferación de las bacterias en el útero induce necrosis y destrucción de membranas placentarias fetal y materna, lo que provoca la muerte y expulsión del feto (Gyles et al., 2008). Una excreción masiva de las brucelas comienza después del aborto y puede continuar durante 15 días. Algunos bovinos tradicionales infectados se vuelven portadores de brucelas y la excretan de manera intermitente durante muchos años. En neonatos es probable que la infección ocurra en el útero, o cuando los terneros nacidos de madres sanas se alimentan con calostro o leche de madres infectadas. Otras fuentes de propagación incluyen el semen de toros infectados durante la monta o a través de heridas en la piel. Las ovejas, cabras y animales de fauna

silvestre, juegan un papel importante en la diseminación de la enfermedad entre los búfalos (Sousa et al., 2015).

Los signos clínicos de la brucelosis incluyen el aborto, retención placentaria y deterioro de la fertilidad y están relacionados a la susceptibilidad o resistencia de los individuos. El aborto puede ocurrir después de seis meses, con placenta retenida y metritis catarral; en los toros, pueden producirse epididimitis y orquitis, la calidad del semen puede afectarse y pueden quedar como portadores, además de sinovitis en articulaciones afectadas. La pérdida económica radica en el sacrificio de animales infectados en países desarrollados y por abortos y baja producción láctea en países en desarrollo (Sousa et al., 2015; García 2018).

Control. En el búfalo de agua, se ha seguido la misma estrategia que para bovinos (*Bos*); desde hace más de dos décadas se ha evaluado la respuesta inmune inducida por la vacuna en búfalos con cepa de *Brucella abortus* strain 19 (Ashraf y Jahangir, 2000). En Egipto, se aplicó la política de "prueba y sacrificio" en hatos lecheros infectados con *Brucella* (Hosein et al., 2018); otra acción es la cuarentena de hatos infectados. El gobierno italiano ha llevado a cabo un programa de erradicación desde 1994, lo que ha permitido la disminución de la prevalencia y de la distribución geográfica de la brucelosis (Calistri et al., 2008) y la Comisión Europea aprobó el uso de la vacuna cepa RB51 de *B. abortus* para el búfalo de agua (RB51) desde el 2007 (Tittarelli et al., 2015). En Irak a pesar de que desde 2007 se inició programa de vacunación, ha sido pobremente implementado (Dahl, 2020).

En México, a hembras gestantes de búfalo de agua se les ha vacunado con la cepa RB51 y se ha reportado que los terneros no presentan seroconversión, las hembras tampoco presentan abortos y es nula la posibilidad de que presenten infecciones persistentes. La revacunación con la misma vacuna no cambia el estado serológico convencional mostrando así que múltiples vacunaciones de adultos normales y hembras preñadas pueden llevarse a cabo, aumentando la inmunidad sin afectar el estado serológico (Rivera et al., 2016).

Tuberculosis

La Tuberculosis es una enfermedad importante por su impacto económico y zoonótico, es infecciosa y contagiosa crónica causada por *Mycobacterium*, que afecta a una amplia gama de huéspedes mamíferos, tanto en fauna silvestre como en cautiverio y ha sido reconocida en diferentes regiones del mundo durante muchos años (Gyles et al., de Lisle et al., 2001; Fitzgerald et al., 2013). *Mycobacterium bovis* es la principal causa de infección en búfalos de agua y bovinos del género *Bos* y es de gran preocupación para la salud humana ya que es una zoonosis y principal causa de infección humana en los países en desarrollo (Martucciello et al., 2020).

Epidemiología. Los primeros reportes de aislamiento de *M. bovis* en búfalos de agua fue en 1968 (Mohan, 1968); posteriormente en Australia e Indonesia (Hein y Tomasovic, 1981), Uganda y Tailandia en 1995 (Kanameda y Ekgatat, 1995). Más recientemente, se realizó un

estudio en Sudáfrica donde se determinó la prevalencia de *M. bovis* del 17.6% en búfalos de vida libre (Van der Heijden et al., 2020). En Europa, sobre todo en Italia, se ha reportado utilizando también la prueba de INF- γ (Martucciello et al., 2020). *M. bovis* también se ha reportado en búfalo de agua en el continente americano; en Argentina en 2006 se reportó el primer aislamiento (Guanziroli, 2006); en Brasil con prevalencia de 4.16% (Albernaz et al., 2015) y una nueva clade de *M. bovis* cepa Marajó (da Conceição et al., 2020). En Colombia con prevalencias variables en diferentes regiones y con diferentes técnicas (Jojoa-Jojoa et al., 2016). También se ha reportado y estudiado en Cuba con pruebas experimentales de tuberculina para evaluar una forma de diagnóstico práctico y económico que, al parecer, ha sido satisfactorio; sin embargo, falta mucho por evaluar ya que el grosor de la piel del búfalo es diferente a la de la res (Domínguez et al., 2013; Albernaz et al., 2015).

Hallazgos clínicos. *M. bovis* induce una enfermedad crónica que dura de meses o años; los animales afectados son generalmente asintomáticos o pueden presentar signos característicos como emaciación progresiva, tos, disnea, linfadenomegalia y disminución en la producción, puede haber mastitis. Produce lesiones caseosas en nódulos linfáticos principalmente en pulmón, nódulos mediastínicos, pleura, hígado y nódulos linfáticos mesentéricos hasta formar lesiones caseosas calcificadas que suelen ser de color amarillo en bovinos (*Bos*) y blanco en búfalos. Las lesiones del búfalo son más pálidas y menos

calcificadas que las del bovino (Fagiolo et al., 2005). Lesiones caseosas sugieren la presencia de tuberculosis, para comprobar que un hato está infectado se utiliza la prueba de tuberculina como diagnóstico práctico y económico (Albernaz et al., 2015), sin embargo, para un diagnóstico definitivo se debe de apoyar en histopatología, aislamiento bacteriológico (Oliveira et al., 2007), o moleculares (PCR) o de INF- γ (Martucciello 2020).

Control. El control de la Tuberculosis se basa en la erradicación, primeramente, diagnosticando casos positivos por medio de tuberculina y eliminando los animales infectados mediante el sacrificio; como medidas sanitarias, la separación física para la crianza de la descendencia (Martucciello et al., 2020). Para países en los que los búfalos son de nueva introducción, se debe considerar el riesgo de la inducción de esta especie.

Paratuberculosis

Otro patógeno involucrado en enfermedades de búfalo de agua es *Mycobacterium avium* subespecie paratuberculosis (MAP) (Dalto et al., 2012) también del género de bacterias ácido alcohol resistentes y es responsable de la paratuberculosis en animales o enfermedad de Johne en humanos o enteritis crónica bovina.

Epidemiología. La paratuberculosis es una enfermedad infecciosa, contagiosa, crónica, de distribución mundial y afecta a los rumiantes (Gyles et al., 2008). Se ha reportado en brotes o endémica en varios países en animales en producción y fauna silvestre (Whittington et al., 2019). Se ha reportado en búfalos de agua en Egipto, en India (Hemati et al., 2020) con una seropositividad del 28.6% (Singh et al., 2008). En América, se ha reportado en Brasil (Farias et al., 2016), en Colombia (Correa-Valencia et al., 2018) y en México con una seroprevalencia de 27% (Vázquez, 2012).

Hallazgos clínicos. Las micobacterias ingresan por vía oral por alimentos contaminados con heces de animales infectados. La infección es frecuente en animales jóvenes, después existe un período prolongado de incubación con excreción fecal intermitente en números reducidos de microorganismos; cuando existe un número elevado de bacterias se desarrollan lesiones intestinales extensas que causan la enfermedad clínica y colonizan los nódulos linfáticos mesentéricos e ileocecales. La micobacteria se elimina en heces donde contaminarán el medio ambiente (Gyles et al., 2008). Las lesiones en búfalos de agua incluyen engrosamiento de la mucosa intestinal y aumento de nódulos linfáticos mesentéricos, con inflamación granulomatosa de leve a moderada (Sivakumar et al., 2006). El diagnóstico definitivo es por aislamiento bacteriológico, sin embargo, es muy lento por lo que hay opciones como PCR o ELISA (Singh et al., 2008).

Control. En una encuesta de 48 países, encontraron que la paratuberculosis es muy común en ganado bovino (*Bos*) y en búfalos. En aproximadamente la mitad de los países, más del 20% de rebaños y manadas estaban infectados con MAP y la mayoría de los países (60%) tenían programas de control voluntario (Whittington et al., 2019). La estrategia general de la mayoría de los países es la identificación y eliminación de animales enfermos y / o subclínicamente infectados (Lu et al., 2008).

Ántrax

El ántrax es una enfermedad infecciosa producida por una bacteria Gram positiva esporulada llamada *Bacillus anthracis*, la cual induce septicémica de curso agudo y crónico que afecta a gran número de animales domésticos, silvestres y al hombre; la enfermedad tiene una distribución mundial y es una de las principales zoonosis (Gyles et al., 2008).

Epidemiología. En búfalos de agua se han reportado brotes recurrentes de ántrax entre el 2014 y 2017 en África, donde fueron afectados 745 de los 4500 búfalos indicando una tasa de mortalidad del 17% (Muturi et al., 2018). Sin embargo, no hay muchos reportes oficiales de esta enfermedad, aunque los bovinos tradicionales son

generalmente más susceptibles que los búfalos (Sharma y Kumar, 2003).

Hallazgos clínicos. El ántrax o carbunco puede transmitirse a través de la sangre, la carne, los cueros, de animales infectados; también por inhalación o ingestión de esporas a través de alimentos, forrajes, agua o cadáveres contaminados. Los brotes son más comunes en condiciones cálidas y húmedas como las lluvias después de las sequías (Sharma y Kumar, 2003). Es una enfermedad febril, septicémica con altas temperaturas y meningitis, que pueden ser seguidas en pocos días por una enfermedad aguda en varias especies animales, pero en los búfalos hay formas agudas e hiperaguda. Induce úlceras localizadas y costras. *Bacillus anthracis* inhalado causa una neumonía fulminante. El carbunco intestinal se asocia con gastroenteritis aguda (náuseas, vómitos y diarrea con sangre). Se caracteriza por esplenomegalia. La secreción de sangre por orificios naturales es común y la mortalidad es muy alta. El curso es de 48 horas con temperatura de 42°C, depresión, respiración rápida y profunda, congestión de mucosas con manchas hemorrágicas. La leche puede estar teñida de sangre, puede haber diarrea y edema de lengua, garganta, esternón y perineo. La muerte es repentina después de convulsiones y colapso, sin signos, excepto la salida de sangre por las fosas nasales, el ano y la boca (Sharma y Kumar, 2003).

Control. El ántrax en el búfalo de agua se maneja muy similar al del bovino (*Bos*), sin embargo, las necesidades fisiológicas del búfalo de agua, especialmente los animales jóvenes, son distintas de las de la res; el comportamiento de revolcarse del búfalo aumenta el contacto de los terneros con esta bacteria, aumentando la frecuencia de la enfermedad en contraste con el ganado bovino tradicional (Davis et al., 2001). La vacuna de esporas funciona bien y proporciona inmunidad durante un año. La aplicación en situaciones de riesgo puede resultar útil. Después de un brote, la vacunación anual debe realizarse durante al menos tres años (Dragon y Elkin 2001). En casos con presencia del patógeno, se debe evitar la necropsia o la faenación del animal para prevenir la esporulación de las formas vegetativas de *B. anthracis* al entrar en contacto con oxígeno. Se debe destruir el cadáver, de preferencia se debe incinerar en el mismo sitio y enterrar las cenizas. De no ser posible la incineración, se debe enterrar el cadáver a una profundidad que asegure al menos, un metro de tierra sobre él, a fin de evitar que sea desenterrado por animales (Perret et al., 2001).

Enfermedades gastrointestinales bacterianas

La salmonelosis y la colibacilosis son las principales enfermedades gastrointestinales bacterianas que se han reportado en búfalos, principalmente en becerros de 6 a 12 meses. En hatos lecheros se ha relacionado que hasta el 70% de la mortalidad por diarrea en becerros

de búfalo de agua es debida a *Salmonella* spp, siendo *S. Typhimurium* el principal serovar identificado (Borriello et al., 2012a). *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. son enterobacterias Gram negativas que presentan numerosos factores de virulencia. Aunque *E. coli* ha sido relacionada como habitante de la microbiota del colon en especies domésticas, *Salmonella* spp. siempre está relacionada con problemas entéricos o sistémicos, y no como microbiota intestinal (Barrow et al., 2010; Gyles y Fairbrother, 2010). Además de *Salmonella* spp, también se ha aislado en animales jóvenes *Escherichia coli* (enterotoxigénica, ETEC, enterohemorrágica, EHEC y necrotoxigénica, NTEC) y *Clostridium perfringens*. Otros agentes no bacterianos involucrados en diarreas en becerros *B. bubalis* son: *Cryptosporidium* y Rotavirus (Borriello et al., 2012a; Borriello et al., 2012b; Nizza et al., 2010). Resultados similares han sido encontrados por Zaman et al. (2006), quienes reportan que una de las principales causas de muerte de becerros de búfalo de agua en Pakistán es la diarrea y neumoenteritis, principalmente por *E. coli* y *Salmonella*. La fuente principal de transmisión y contagio es la excreción en heces de portadores asintomáticos, aunque también por fómites y diseminación mecánica.

Hallazgos clínicos. Además de diarrea profusa, se presenta enteritis, pirexia, deshidratación y en condiciones severas infección sistémica (infección en articulaciones y sistema nervioso central). Estos signos son similares a los reportados en bovinos (*Bos*), sin embargo, *Bubalus bubalis* es más susceptible a la fiebre, debido principalmente a la baja

proporción de glándulas sudoríparas. Los cambios en cuanto a las proteínas de la fase aguda por la infección por *Salmonella* sp. (aumento en fibrinógeno, haptoglobulina y ceruloplasmina, así como la disminución de transferrina) son consistentes con los signos clínicos (Clemente, et al., 2016). Los cambios en el hemograma y en leucocitos (policitemia y leucopenia) también son comparables a lo observado en otros rumiantes (Clemente et al. 2016).

Control. Se ha aislado *E. coli* de muestras fecales con diferentes genes de resistencia a antibióticos (Nizza, et al. 2010; Aizawa, et al. 2014), lo que representa un riesgo importante en el control de estos patógenos. Esto ha sido reflejo de un incorrecto uso de la antibioterapia, aunque no es exclusivo de la producción de búfalo de agua. En cuanto al riesgo a la salud pública, *B. bubalis* es portador de *E. coli* O157:H7 (Galiero et al. 2005; Nizza et al. 2010), con la subsecuente capacidad de excreción intermitente y diseminación en cultivos o en productos lácteos.

Leptospirosis

Debido a la característica de los búfalos de agua de adaptarse a climas tropicales y subtropicales húmedos, la posibilidad de infección con serovares patógenos de *Leptospira* es alta. Las bacterias del género *Leptospira* son Gram negativas, con más de 260 serovariedades, la especie *L. interrogans* es la especie patógena más significativa y

presente en todo el mundo. Se le encuentra con mayor facilidad en ambientes húmedos y con un amplio rango de hospedadores, que incluye bovinos, perros, cerdos, rumiantes y el hombre (Fraga, et al. 2015). El búfalo de agua puede ser hasta tres veces más susceptible a la infección que el bovino tradicional, además de que pueden compartir infección por los distintos serovares si conviven estrechamente (Suwancharoen, et al. 2013). Las principales vías de transmisión es la oral, abrasiones en piel y no se descarta la vía venérea. En *B. bubalis*, *Leptospira* spp. infecta el tejido renal, así como los órganos sexuales, por lo que puede excretarse tanto en orina como en semen, además de la excreción en leche y líquidos placentarios (Perumal, et. al., 2013; Satish, et al., 2019).

Epidemiología. Debido a su importante capacidad de producir enfermedad en seres humanos (la diseminación bacteriana en la orina), la vigilancia seroepidemiológica de *Leptospira* se ha llevado a cabo en diversos países. Se ha encontrado que el búfalo de agua puede ser un portador y diseminador, ya que algunos serovares de *L. interrogans* no producen enfermedad o producen signos clínicos inaparentes (Konrad et al. 2013). En Veracruz México, Romero-Salas et al. (2017), encontraron una seroprevalencia de 34.7%, siendo el serovar Muenchen el más significativo. En la región noroccidental de Brasil, se encontró una seroprevalencia de 70.6%, siendo los serovares más prevalentes Pomona, Butembo e Icterohaemorrhagiae (Carvalho, et al. 2015). En Argentina, Konrad, et al. (2013) encontraron una

seroprevalencia de 22.2% y los principales serovares fueron Pomona, Canicola y Grippotyphosa. En Tailandia, en un estudio serológico llevado por Suwancharoen et al., 2013 encontraron una prevalencia de 30.5%, mayor a la observada en bovinos (9.9%) y los serovares prevalentes fueron Ranarum, Sejroe y Mini. En Irán se encontró una seroprevalencia de 43.3%, siendo el serovar Hardjo el que mayor positividad tuvo (56.2%). De los casos positivos a la prueba serológica de microaglutinación (MAT), solamente 15.6% fueron positivos a PCR (Hajikolaie et al. 2016). Por otro lado, bajo condiciones de llanura aluviales, recientemente Guedes, et al. 2020 encontraron evidencia de infección a través de PCR de sólo 2.3% en una región del Amazonas en Brasil. Las especies identificadas fueron *L. interrogans* y *L. borgpetersenii*. Estos resultados indican que la serología es útil para determinar la infección de reactores positivos, mientras que la PCR determina la diseminación activa de estas bacterias.

Hallazgos clínicos. Se conoce parcialmente la patogenia de la leptospirosis en *Bubalus bubalis*, sin embargo, es probable que se produzcan problemas reproductivos similares a los bovinos (*Bos*), como abortos, infertilidad y disminución de la producción láctea (Denipitiya, et al. 2017; Guedes, et al. 2020). La susceptibilidad a la infección también es dependiente de la edad, encontrándose mayores animales positivos a la prueba de MAT en animales adultos en Italia (Ciceroni, et al., 1995) y Tailandia (Suwancharoen et al., 2013). *L. interrogans* produce lesiones renales, tales como nefritis intersticial,

necrosis tubular aguda, pielonefritis, glomerulonefritis, fibrosis renal e hidronefrosis (Hajikolaei et al., 2016).

Control y Profilaxis. El control de la leptospirosis en búfalos de agua no ha sido suficientemente reportado, ya que existen pocos estudios sobre las especies y serovares patógenos de *Leptospira* que afectan a estas especies, así como el conocimiento de la historia natural de la enfermedad ha sido poco dilucidado (Guedes, et al. 2020; Hajikolaei, et al. 2016). Es probable que en *B. bubalis* el estado crónico de la enfermedad se desarrolle, produciendo que se vuelvan portadores asintomáticos que diseminen estas bacterias de manera intermitente. Debido a que las especies de *Leptospira* tiende a mantenerse en hospedadores de mantenimiento específicos, es imprescindible que el uso de la vacunación sea basado en las especies o serogrupos aislados de los búfalos infectados, tal como se maneja en los bovinos tradicionales (Suwancharoen et al. 2013; OIE. 2018).

Septicemia hemorrágica

La Pasteurelosis producida por *Pasteurella multocida* subespecie *multocida* en bovinos (*Bos*) y búfalos de agua es conocida como Septicemia Hemorrágica. *P. multocida* es una bacteria bacilar Gram negativa que presenta cápsula, uno de los principales mecanismos de virulencia. Esta enfermedad es especialmente importante en *B. bubalis*, ya que funge como reservorio. Existen varios serotipos de *P.*

multocida que están relacionadas con enfermedad (B:2, A:1, A:3, B:3, B:4, E:2 y B:1) los más comunes son los serotipos B: 2 y E: 2 (sistema de clasificación Carter-Heddleston) (TCFSPH, 2009).

Epidemiología. Esta enfermedad se encuentra presente principalmente en África y en Asia, pero no en América. Sin embargo, se ha notificado el aislamiento de los serotipos B:2 y E:2 a partir de ciervos en Estados Unidos. En México es una enfermedad exótica de reporte obligatorio. Aunque la enfermedad se presenta con frecuencia tanto en reses como en búfalos de agua, en estos últimos la enfermedad es más grave (morbilidad y mortalidad del 100%). En las regiones endémicas, los animales jóvenes son más susceptibles que los adultos, en individuos de hasta 2 años. En brotes epizooticos se observa en individuos de todas las edades. *P. multocida* subsp. *multocida* se transmite principalmente por aerosoles (la bacteria encuentra su nicho ecológico en la región orofaríngea), que penetran por la mucosa oral y respiratoria. Los climas húmedos favorecen la diseminación y el estrés favorece la infección de animales susceptibles, en el periodo de lluvias se detectan más casos. El periodo de incubación es de hasta 5 días, con una posibilidad de recuperación muy baja. Los individuos recuperados generalmente se vuelven portadores hasta por 6 meses (TCFSPH, 2009; Boyce, et al., 2010).

Hallazgos clínicos. Los signos clínicos no son diferentes a otras enfermedades respiratorias (disnea, letargo, anorexia, pirexia), sin

embargo, sobresale el edema en la región mandibular hasta la primera parte del tórax. La respiración se torna difícil, y se puede observar excreción sero-espumosa de los ollares y en hocico. En epizootias, la presentación hiperaguda es común, y la muerte súbita sobreviene sin signos clínicos. A la necropsia se puede observar el edema subcutáneo, petequias en linfonodos regionales, corazón, así como en serosas. En el tracto gastrointestinal se puede observar hiperemia y congestión en abomaso. En la identificación del agente se debe tomar en cuenta la historia clínica del hato. Generalmente, no hay indicios de enfermedad más que la muerte súbita, principalmente de animales jóvenes. Es importante realizar el diagnóstico diferencial con otras enfermedades, inclusive no infecciosas. La toma de muestras posterior a la necropsia debe incluir los linfonodos, exudado orofaríngeo y exudado nasal para el aislamiento del agente. La probabilidad de detectar *P. multocida* en sangre es bajo, aunque debe ser considerada. El diagnóstico diferencial debe excluir la pasteurelisis neumónica. Aunque el aislamiento bacteriano es útil para realizar la serotipificación correspondiente, la realización de pruebas moleculares como la PCR es de mayor utilidad. Los estudios serológicos pueden ser útiles en animales portadores, ya que la elevada y rápida mortalidad en un hato no permite el desarrollo detectable de anticuerpos en plasma sanguíneo (Boyce et al., 2010).

El control se logra con manejo sanitario, la eliminación de reactores positivos y la vacunación. El uso de bacterinas como estrategia de

vacunación ha sido útil en la protección de becerros *B. bubalis* (TCFSPH, 2009; Boyce et al., 2010).

ENFERMEDADES HEMOPARASITARIAS Y OTRAS PROTOZOASIS

Las hemoparasitosis son una de las principales limitantes para el desarrollo de la ganadería bovina en los países tropicales y subtropicales (OIE, 2014). En Latinoamérica y el Caribe los patógenos más importantes son los protozoarios *Babesia bovis* y *B. bigemina* y la rickettsia *Anaplasma marginale*. La garrapata *Rhipicephalus microplus* es el vector más importante para los tres hemoparásitos en la región. La coexistencia de rebaños bovinos tradicionales y bubalinos se identifica como un posible factor de riesgo en la epidemiología de las hemoparasitosis bovinas en América Latina y el Caribe, ante las evidencias de que los búfalos sirven como reservorio de *B. bovis*, *B. bigemina* y *A. marginale* (Romero-Salas et al., 2016; Obregón et al., 2018; 2019). No obstante, aún no se ha esclarecido el rol de los rebaños bubalinos en la epidemiología de las hemoparasitosis bovinas (*Bos*) en la región. Por ejemplo, es posible que estos animales sirvan como "efecto dilución" en la cadena de transmisión de estos patógenos en lugares donde coexisten bovinos tradicionales y búfalos (Obregón et al., 2019), debido a su mayor resistencia natural a las garrapatas (Obregón et al., 2020). En los siguientes acápite de este capítulo abordaremos los principales hallazgos epidemiológicos sobre hemoparásitos en búfalos de agua en América Latina. Además,

abordaremos otros protozoarios de interés en la región, y que han sido reportados en búfalos, como son *Neospora caninum* y *Toxoplasma gondii*.

Infestación por garrapatas en búfalos y su rol como vector de hemoparásitos

Los búfalos son parasitados por garrapatas en la mayoría de los países de América donde se encuentran estos animales, sobre todo por *R. microplus* que es endémica en la mayoría de los territorios de la región (Figura 1). La infestación por hembras adultas de *R. microplus* en búfalos adultos es poco frecuente, pero en los animales jóvenes las infestaciones suelen ser frecuentes, con altas cargas parasitarias (Obregón et al., 2020).

En un estudio experimental en Argentina, Benitez et al. (2012) observaron que *R. microplus* puede completar su ciclo de vida en bubalinos, concluyendo que el búfalo puede sostener poblaciones de *R. microplus*. Estos autores también observaron que solo el 5% de las larvas que se alimentaron en búfalos sobrevivieron hasta la fase de teleóginas, mientras que en bovinos la sobrevivencia de las larvas fue de 12%. Posteriormente, Obregón et al. (2020) encontraron que las garrapatas alimentadas en búfalos tienen igual eficiencia reproductiva que las alimentadas en bovinos, e incluso transmiten *B. bovis* y *B. bigemina* por vía transovárica a su progenie. En dicho estudio se confirmó que la tasa de supervivencia de las larvas de *R. microplus* en

bucerros es inferior que en terneros bovinos (*Bos*), lo que evidencia la resistencia natural de los búfalos a las garrapatas.



Figura 1. Infestación por garrapatas *R. microplus* alimentadas (teleóginas) en una búfala joven en las condiciones productivas de Cuba. La infestación en estos animales ocurre generalmente en las regiones anatómicas perineal, inguinal y auricular, frecuente en búfalos entre 6 y 24 meses de edad.

La transmisión de *B. bovis* y *B. bigemina* por vía transovárica en *R. microplus* es el principal mecanismo de persistencia de estos protozoarios en los ecosistemas de Latinoamérica y el Caribe. La infestación por estadios inmaduros de las garrapatas en búfalos puede garantizar la transmisión de hemoparásitos, los cuales son transmitidos por diferentes fases del desarrollo de las garrapatas. Por ejemplo, *B. bovis* solo es transmitida por las larvas, mientras *B. bigemina* es transmitida por ninfas y adultos (Bock et al., 2004). No obstante, las evidencias científicas sobre la transmisión de estos

patógenos por garrapatas en búfalos, y desde búfalos a las reses, son aún limitadas.

En el caso de *A. marginale*, varios grupos de investigación coinciden en que no se transmite por vía transovárica en garrapatas. Debido a que *R. microplus* es una garrapata de un solo hospedero, la transmisión la realizan los machos, que se desplazan de hospederos en busca de hembras que copular (Kocan et al., 2010). Las evidencias sugieren que este mecanismo de transmisión también afecta a los búfalos (Obregón et al., 2018). No obstante, da Silva et al. (2015) sugieren que en Brasil garrapatas del complejo *Amblyomma cajennense* y *Dermacentor nitens* también participan en la transmisión de *A. marginale* en búfalos; pero no se han descrito estudios que comprueben estos postulados.

Anaplasmosis y babesiosis

La anaplasmosis y la babesiosis en Latinoamérica y el Caribe se reconocen como un complejo de enfermedades, denominado como Fiebre de las garrapatas (o *Tristeza parasitaria bovina* en Brasil), debido a la semejanza en los síntomas clínicos, y porque se presentan juntas en los rebaños y son transmitidas por el mismo vector. En cuanto a los agentes etiológicos, *A. marginale* es una rickettsia de la familia Anaplasmataceae, que parasita los eritrocitos del hospedero. Se transmite por garrapatas, en las que se multiplica en las glándulas salivales (Kocan et al., 2010), pero también se transmite por vía

mecánica a través de moscas hematófagas y mediante fómites, y por vía placentaria. En cuanto a *B. bovis* y *B. bigemina*, son protozoarios que pertenecen al filo Apicomplexa (Bock et al., 2004). Los microorganismos del género *Babesia* se multiplican en los eritrocitos del hospedero vertebrado y en células de garrapatas (vectores biológicos) (Chauvin et al., 2009).

Otras especies de rumiantes también pueden ser infectadas por *B. bovis*, *B. bigemina* (Chauvin et al., 2009) y *A. marginale* (Aubry y Geale, 2011), aunque son limitadas las evidencias sobre la infección natural en esos hospederos y su capacidad de reservorio, específicamente sobre su rol como fuente de infección para la transmisión de patógenos desde búfalos portadores. En *A. marginale*, debido a que puede transmitirse mediante insectos hematófagos, el rango de hospederos que pueden ser infectados es amplio (Aubry y Geale, 2011). Aun así, la transmisión biológica por garrapatas es la principal forma de distribución (Kocan et al., 2010), más eficiente que la transmisión por moscas (Scoles et al., 2008).

Los búfalos de agua pueden ser portadores de *A. marginale* en América Latina y el Caribe (da Silva et al., 2014; Obregón et al., 2018). Existen pocos estudios sobre la incidencia de anaplasmosis en búfalos, pero se sabe que la prevalencia es menor que en reses. En Brasil, da Silva et al. (2014) analizaron 500 muestras de 16 provincias y encontraron seroprevalencia de 49%, mientras que el patógeno solo fue detectado molecularmente en 5.4% de los animales. Más

recientemente, Obregón et al. (2019) en búfalos de las cuatro provincias occidentales de Cuba encontraron prevalencias molecular y serológica de 51% y 60%, respectivamente.

Existe consenso de que los búfalos, aún cuando están infectados por *A. marginale*, difícilmente manifiestan clínicamente la enfermedad (da Silva et al., 2014; Obregón et al., 2019). De hecho, ninguno de los estudios epidemiológicos disponibles observó signos clínicos de anaplasmosis en búfalos, ni tampoco reportes de casos clínicos según la experiencia de criadores y veterinarios consultados. Hasta donde tenemos conocimiento, solo un estudio informó la presencia de signos clínicos de anaplasmosis en búfalos en Brasil (Franzolin et al., 1989).

Sobre la transmisión cruzada de *A. marginale* entre reses y búfalos, da Silva et al. (2015) en Brasil encontraron cepas de *A. marginale* presentes en búfalos, que estaban filogenéticamente relacionadas con las reportadas en reses. Estos autores reportaron un aislado de *A. marginale* en garrapatas del género *Amblyomma* que solo fue encontrado en búfalos. No obstante, la participación de *Amblyomma* spp. como vector de *A. marginale*, así como la presencia de cepas específicas en búfalos es un tema que debe estudiarse con mayor profundidad, preferentemente con ensayos experimentales. Por otro lado, Obregón et al. (2018) en un estudio de cohorte en Cuba, con reses y búfalos cohabitando en los mismos pastizales, demostraron que estaban infectados con las mismas cepas. Incluso se descartó la posibilidad de que cepas de *A. marginale* hayan entrado con los búfalos importados, ya que estos procedían mayoritariamente de

Australia, donde se ha reportado un solo genotipo de *A. marginale*, que no ha sido encontrado en Cuba.

Se estima que las moscas *Haematobia irritans* y *Stomoxys calcitrans* también pueden participar en la transmisión de este patógeno en búfalos. Además, en un foco de piojos *Haematopinus tuberculatus* en búfalos en Brasil se comprobó que estaban infectados con *A. marginale*, identificando este piojo como posible vector (da Silva et al., 2013). Este hecho adquiere mayor significación porque estos piojos son el principal ectoparásito que afecta los búfalos en varios países. Más recientemente, en un rancho en Veracruz, México, se analizaron 20 muestras de este piojo recolectadas en búfalos y encontraron que el 70% de ellos estaban infectados con *A. marginale* (Hernández-Velasco et al., 2020). Futuros estudios sobre el tema deben caracterizar la capacidad vectorial de este ectoparásito dentro de la cadena de transmisión de *A. marginale*.

En el caso de *B. bovis* y *B. bigemina* el rango de hospederos en América es reducido, ya que su único vector es *R. microplus*, que es selectiva para bovinos tradicionales. De ellas, *B. bigemina* es la especie más frecuente, provocando tasas de mortalidad de hasta el 30% en animales sin tratamiento. Sin embargo, *B. bovis* es la especie más virulenta, con tasas de mortalidad de 70-80%, incluyendo lesiones hematológicas y neurológicas. Los búfalos de agua se reconocen como hospederos de *B. bovis* y *B. bigemina* (Uilenberg, 2006). Sin embargo, los búfalos son resistentes a protozoarios, y los animales infectados generalmente son portadores, mientras que los cuadros clínicos son

poco frecuentes y más leves que en reses (Mahmmod, 2014). La prevalencia de estos patógenos en búfalos es variable, cuando se compara entre Brasil, Argentina, México y Cuba. Se infiere que su prevalencia depende de los factores epidemiológicos locales, sobre todo de la dinámica poblacional de *R. microplus* (Romero-Salas et al., 2016; Obregón et al., 2019).

Los hallazgos de Romero-Salas et al. (2016) en México sugieren que los búfalos de agua son capaces de eliminar la infección por *Babesia* spp., posiblemente debido a mecanismos de respuesta inmune más eficaces que en bovinos del género *Bos*. Además, este estudio encontró que las infecciones por *B. bovis* y *B. bigemina* en búfalos son más altas cuando cohabitan con reses infectadas. Además, en Colombia se comprobó que la prevalencia de *Babesia* spp. en bovinos y búfalos está modulada por variaciones estacionales, factores del hospedero, y las características del vector, reportándose mayor prevalencia de *B. bigemina* en bovinos (*Bos*) y de *B. bovis* en búfalos (Jaimes-Dueñez et al., 2018). Resultados similares se observaron en Argentina, Brasil, Colombia y Cuba (Silveira et al., 2016; Jaimes-Dueñez et al., 2017; Obregón et al., 2019). Los resultados sugieren que en América y el Caribe los búfalos soportan mayor prevalencia de *B. bovis* que las poblaciones de ganado bovino tradicional.

Teileriosis

La teileriosis es una enfermedad hemoparasitaria que causa grandes pérdidas en el ganado bovino del género *Bos* a nivel global. Es causada por varios protozoarios del género *Theileria*, que infectan diferentes especies de ganado. Las especies de *Theileria* se organizan en dos grupos. El primer grupo incluye *T. parva* y *T. annulata*, que causan la teileriosis linfoproliferativa en reses. La especie *T. annulata* causa la teileriosis tropical, que afecta a bovinos (*Bos*) y búfalos, y que está presente en el norte de África y el sur de Europa, extendiéndose a través del Medio Oriente, India y el sur de Rusia, hasta China. Específicamente en Egipto, El-Deeb y Younis (2009) detectaron que *T. annulata* está asociada a la presencia de anemia en los búfalos de agua.

El otro grupo es genéticamente diverso, incluye especies cuya clasificación taxonómica aún está en debate, y causan la teileriosis bovina no linfoproliferativa. Aquí se incluyen *T. sergenti*, *T. buffeli*, *T. orientalis* (Altangerel et al., 2011). El grupo *T. buffeli* / *orientalis* afecta bovinos tradicionales y búfalos. En Tailandia, Altangerel et al. (2011) analizaron los genotipos de *T. orientalis* presentes en bovinos y búfalos, concluyendo que los búfalos sirven como reservorio de genotipos de *T. orientalis* en ese país. Posteriormente, Elsify et al. (2014) reportaron el genotipo *T. orientalis* tipo 2 en búfalos en Egipto, que es considerado un genotipo virulento, y por tanto, de interés veterinario y económico. Recientemente se reportaron casos fatales

de infección por *T. orientalis* en búfalos en una granja lechera en la India (Vinodkumar et al., 2016). El clado *T. buffeli* posee el mayor número de genotipos (13) y ocurre en los principales continentes del mundo, infectando a bovinos, búfalos africanos y búfalos de agua (Sivakumar et al., 2014). Varios nombres de especies han sido asignados a miembros de este clado incluyendo *T. buffeli*, *T. orientalis* y *T. sergenti*, pero se ha propuesto que representan una sola designada como *T. buffeli*. Originalmente esta especie tuvo origen en el búfalo de agua asiático, en un área donde no existía *T. annulata* (Neveu-Lemaire, 1912).

La teileriosis bovina (*Bos*) no es una enfermedad frecuente en Latinoamérica, y no había sido reportada en búfalos. Sin embargo, un estudio en 2016, en la región del Amazonas en Brasil, analizó molecularmente la presencia de cepas de *Theileria* en 13 ($n=308$) animales procedentes de tres granjas; específicamente 11 de ellos procedentes de una granja con historia de enfermedad linfoproliferativa. Los análisis revelaron que las cepas estaban genéticamente relacionadas con *T. buffeli* (Silveira et al., 2016). Más recientemente, en el estado de Maranhão en el nordeste de Brasil, en un estudio epidemiológico se detectó un animal positivo a *Theileria* spp., y genéticamente relacionado con el grupo *T. buffeli / orientalis*. Estos recientes descubrimientos sugieren que debe profundizarse en el estudio epidemiológico de esta enfermedad en América, específicamente en los búfalos que apenas tienen decenas de años de introducidos en la mayoría de los países latinoamericanos.

Tripanosomiasis

Los tripanosomas son parásitos protozoarios de la familia Trypanosomatidae, que pueden infectar a los animales domésticos, incluidos las reses y los búfalos. Se describen dos modos de transmisión de *Trypanosoma vivax*: la transmisión cíclica, a través de las moscas tsé-tsé, que solo ocurre en África, y la forma mecánica mediante fómites contaminados o a través de insectos hematófagos como tábanos, *Stomoxys calcitrans* y *Haematobia irritans*, lo que ocurre en África, Sudamérica, Asia, y otras regiones (Dagnachew y Bezie, 2015).

Trypanosoma evansi es el principal agente causante de “surra”, hemoparasitosis que afecta varias especies, incluyendo camélidos, équidos, búfalo y otros mamíferos. En búfalos, surra es una infección crónica, caracterizada por la pérdida de peso, infertilidad y aborto, con alta tasa de infección en diferentes países de Asia, siendo uno de los principales hemoparásitos en búfalos (Desquenses et al., 2013). Verloo et al. (2000) en búfalos de agua de Vietnam del Norte encontraron solo 1.9% de animales positivos en ensayos de inoculación; sin embargo, el 22% eran seropositivos, lo que ilustra que la infección por *T. evansi* ocurre frecuentemente en búfalos de ese país. Mientras que, en Indonesia, Payne et al. (1991) observaron una prevalencia de tripanosomas en búfalos superior a bovinos tradicionales en la misma región, con mayor prevalencia en animales adultos.

En las Américas, la tripanosomiasis es mayormente causada por *T. vivax* y es frecuente en búfalos de río en América Central y del Sur, causando importantes pérdidas económicas, con una mortalidad del 22% en los bucerros. Específicamente en Venezuela, los primeros estudios ya reportaban la tripanosomiasis en búfalos de agua en la región del Delta del Orinoco desde los años 70. Luego, García et al. (2005) encontraron 40% de seroprevalencia en búfalos. Posteriormente, un estudio longitudinal en los llanos venezolanos durante el periodo 2006-2015 encontró valores constantes de prevalencia de tripanosomiasis del 23% en búfalos portadores. Sin embargo, durante un periodo prolongado de sequía en la región se produjo un foco de tripanosomiasis clínica, que afectó a más del 30% del rebaño. Los animales enfermos presentaron anemia y trastornos neurológicos, con letargia y muerte del 7% del rebaño (García et al., 2016).

En Brasil, la infección por *T. vivax* ha sido diagnosticada en reses en varios estados, por ejemplo: Pará, Amapá, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Maranhão, Tocantins, Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul, Pernambuco, Alagoas y Goias (Bastos et al., 2017). Recientemente se publicó un estudio realizado en áreas de pastos de inundación estacional en Pará, en bovinos (*Bos*) y búfalos, y encontraron prevalencias de *T. vivax* de 59.6% y 44.3%, respectivamente, confirmándose molecularmente la presencia de un solo genotipo de *T. vivax* en la región. Estos resultados destacan la necesidad de realizar estudios sistemáticos para caracterizar la

situación epidemiológica de *T. vivax* en Brasil, incluyendo reses y búfalos (Pérez et al., 2020).

Neosporosis

Neospora caninum es un parásito intracelular obligado, protozooario del filo Apicomplexa. Provoca aborto en reses y búfalos en todo el mundo (Guimaraes et al., 2004). Se puede aislar *N. caninum* viable a partir de tejidos de búfalos infectados de forma natural, lo que indica que es un hospedero intermedio del parásito (Guy et al., 2001). El contacto con perros se asoció con infección en búfalos de Pakistán, lo que sugiere su participación en la contaminación de alimentos para búfalos (Nasir et al., 2011).

La neosporosis en búfalos tiene importancia económica en varios países como Brasil, India, Italia y Vietnam (Dubey et al., 2003). A pesar de la clara asociación de *N. caninum* y el aborto en bovinos (*Bos*), en los búfalos de agua son menos frecuentes. Hay evidencia de que la respuesta inflamatoria en búfalas preñadas, e infectadas por *N. caninum* es eficaz en controlar la infección y evitar el aborto en la mayoría de los casos. Sin embargo, también existen evidencias de que *N. caninum* puede causar aborto en búfalos (de Barros et al., 2020), incluso en fetos abortados se han encontrado lesiones como encefalitis y miocarditis (Guarino et al., 2000). La seroprevalencia de *N. caninum* en búfalos de agua varía entre países; por ejemplo, usando el mismo método diagnóstico (IFAT) se ha reportado 34.6% en Italia

(Guarino et al., 2000), 64% y 53% en búfalos en Sao Paulo, Brasil (Fujii et al., 2001), y 64% en Argentina (Campero et al., 2007). Sin embargo, un estudio en la Amazonía peruana encontró baja seroprevalencia de anticuerpos en búfalos (Jara et al., 2011).

Toxoplasmosis

La toxoplasmosis es una enfermedad zoonótica causada por *Toxoplasma gondii*, un parásito protozooario intracelular, del filo Apicomplexa, causante de lesiones y aborto en humanos. Los búfalos y reses se consideran resistentes a la toxoplasmosis clínica y no hay informe válido de aislamiento de *T. gondii* viable desde carne de búfalos (Dubey, 2010). Sin embargo, la infección en búfalos es de importancia epidemiológica, debido al riesgo de transmisión para los humanos (Alvarado-Esquivel et al., 2014).

En América, en el estado de Veracruz, México, Alvarado-Esquivel et al. (2014) determinaron la seroprevalencia de *T. gondii* en 339 búfalos, e investigaron la asociación entre la seroprevalencia y las características de los búfalos y su entorno. Sus resultados indicaron que los búfalos en dicha zona tienen una seroprevalencia relativamente alta de infección por *T. gondii*. En Brasil, estudios previos han informado bajas seroprevalencias de este patógeno en búfalos en comparación con las reses, pero recientemente se reportaron seroprevalencias de 35.5% en la región norte del país, y de 27.2% en el sur (da Silva et al., 2017).

Igualmente, en Argentina se encontraron anticuerpos contra *T. gondii* en el 25.4% de los búfalos de agua (Konrad et al., 2014).

En la región del Caribe, en 2011 un estudio en Trinidad y Tobago encontró una seroprevalencia de 7.8% de anticuerpos contra *T. gondii* en búfalos. Esta fue la primera documentación de toxoplasmosis en ese país, y los autores concluyen que existe toxoplasmosis en búfalos en grandes fincas en Trinidad y Tobago (Persad et al., 2011). En Cuba, Armas et al. (2018) realizaron un estudio de validación con 400 sueros de búfalos, y encontraron 221 (55.3%) con anticuerpos anti-Toxoplasma por i/ELISA, confirmando resultados con aglutinación en látex en 99.8% de casos. Este fue el primer hallazgo de seroprevalencia de *T. gondii* en búfalos en Cuba.

En general, los búfalos se consideran resistentes a la toxoplasmosis; los estudios epidemiológicos solamente reportan evidencia serológica de infección natural por *T. gondii* en estos animales. No obstante, se describen la edad, el mal estado higiénico de la granja y la presencia de gatos como factores de riesgo para el desarrollo de la infección por *T. gondii* en búfalos. Cabe destacar que la carne de búfalo, en caso de no tener un tratamiento de congelación adecuado, podría ser una fuente potencial de infección para los humanos, así como la leche cruda de búfala (de Barros et al., 2020).

CONSIDERACIONES FINALES

El búfalo de agua es una especie ganadera de gran importancia a nivel global. Además, estos animales son reconocidos por su rusticidad y adaptabilidad a las condiciones climáticas tropicales. No obstante, también pueden ser afectados por diversas enfermedades infecciosas y parasitarias, y que pueden influir en su rendimiento productivo, aun cuando muchas de estas enfermedades no se manifiestan clínicamente en búfalos o presenten cuadros clínicos menos agudos que en bovinos domésticos tradicionales. Desde el punto de vista zoonosanitario, la reciente introducción y expansión de los rebaños bubalinos a países sudamericanos y caribeños representa un factor importante a considerar por los servicios veterinarios, especialmente en los sistemas de vigilancia sanitaria y los planes de lucha y control de las enfermedades de mayor importancia económica. Debe tenerse en cuenta que la introducción de búfalos en una región ganadera también implica introducir un nuevo factor en la cadena de transmisión y el reservorio de muchos de los patógenos que afectan los bovinos (*Bos*), considerando que el reservorio de un patógeno de múltiples hospederos puede ser una o varias poblaciones conectadas epidemiológicamente, en los que el patógeno puede mantenerse permanentemente y transmitirse a la población susceptible a la enfermedad (Haydon et al., 2002).

Entre los factores a considerar está el posible rol que pueden tener los búfalos en cada proceso epidemiológico, según sus características de resistencia o susceptibilidad a un determinado patógeno y sus vectores. Además, debe analizarse como el mantenimiento de la infección está relacionado con el sistema de crianza y la conducta (e.g., reproductiva, alimentaria, higiénica) de los búfalos en cada contexto. Por ejemplo, en Cuba la brucelosis y la tuberculosis bovinas son enfermedades controladas en el ganado bovino desde hace varias décadas, sin embargo, la introducción de rebaños bubalinos y su crianza de forma extensiva en algunas regiones costeras del país estuvo asociado con el incremento de la prevalencia de dichos patógenos en esas regiones. Esto sobre todo porque no fue posible monitorear estos patógenos en los búfalos de vida libre, los cuales además se desplazaban extensamente en busca de alimentos, muchas veces entrando en las áreas de pastoreo de los rebaños bovinos en granjas colindantes.

En cuanto a las hemoparásitos, usemos como ejemplo la situación en bucerros en Cuba. Debido al comportamiento reproductivo estacionario de las búfalas, el 70% de los partos ocurre entre agosto-octubre, de forma que los bucerros tienen edades entre tres a siete meses durante el periodo poco lluvioso (enero-abril) en el país. Por ende, en esta fase los animales enfrentan la baja disponibilidad de pastos, sobre todo en condiciones de cría estabulados, lo que lleva a que frecuentemente tengan la condición corporal y la inmunidad

afectadas. Coincidentemente en este período también ocurre un incremento estacionario de la población de garrapatas *R. microplus*, por lo que la combinación de estos factores lleva a que se registre una elevada infestación por garrapatas en los bucerros entre los tres y doce meses de edad, también con elevada prevalencia de *A. marginale*, *B. bovis* y *B. bigemina*.

Por todo eso, consideramos que la vigilancia y el manejo sanitario de las enfermedades infecciosas y parasitarias en condiciones de coexistencia de reses y búfalos debe ser un proceso holístico, donde cada factor debe ser analizado y atendido según sus implicaciones y relevancia para el control del conjunto de enfermedades presentes en cada región.

REFERENCIAS

- Aizawa, J., Neuwirt, N., Barbato, L., Neves, P.R., Leigue, L., Padilha, J., Pestana de Castro, A.F., Gregory, L., Lincopan, N., 2014. Identification of fluoroquinolone-resistant extended-spectrum β -lactamase (CTX-M-8)-producing *Escherichia coli* ST224, ST2179 and ST2308 in buffalo (*Bubalus bubalis*). *J. Antimicrob. Chemother.* 69, 2866-2869. doi: 10.1093/jac/dku218. Epub 2014 Jun 13. PMID: 24928853.
- Albernaz, T. T., Oliveira, C. M. C., da Silva Lima, D. H., e Silva, N. D. S., Cardoso, D. P., Lopes, C. T. A., y Barbosa, J. D., 2015.

Comparison of the tuberculin test, histopathological examination, and bacterial culture for the diagnosis of tuberculosis (*Mycobacterium bovis*) in buffaloes (*Bubalus bubalis*) in Brazil. *Trop. Anim. Health Prod.* 47, 1153-1159.

Altangerel, K., Sivakumar, T., Inpankaew, T., Jittapalapong, S., Terkawi, M.A., Ueno, A., et al., 2011. Molecular prevalence of different genotypes of *Theileria orientalis* detected from cattle and water buffaloes in Thailand. *J. Parasitol.* 97, 1075-1079.

Alvarado-Esquivel, C., Romero-Salas, D., García-Vázquez, Z., Cruz-Romero, A., Peniche-Cardena, A., Ibarra-Priego, N., Aguilar-Domínguez, M., Pérez-de-León A.A., Dubey, J.P., 2014. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* infection in water buffaloes (*Bubalus bubalis*) in Veracruz State, Mexico and its association with climatic factors. *BMC Vet. Res.* 10, 232. <http://www.biomedcentral.com/1746-6148/10/232>

Armas, V., Obregón, D., Grandía, R., Mitat, A., Roque, E., Pérez, M., Entrena, A.A., 2018. Validation of an inhibition enzyme-linked immunosorbent assay system for the diagnosis of *Toxoplasma gondii* infection in buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.* 37 (3), 917-924. doi: 10.20506/rst.37.3.2895

Ashraf, M.A. & Jahangir, M., 2000. Immune response of buffaloes to vaccination with *Brucella abortus* strain 19 M. *Rev. Sci. Tech.* 19, 867-870.

- Assenga, J. A., Matemba, L. E., Muller, S. K., Malakalinga, J. J., & Kazwala, R., 2015. Epidemiology of *Brucella* infection in the human, livestock and wildlife interface in the Katavi-Rukwa ecosystem, Tanzania. *BMC Vet. Res.* 11, 1-11. doi: 10.1186/s12917-015-0504-8
- Aubry, P., Geale, D.W., 2011. A Review of bovine anaplasmosis. *Transbound. Emerg. Dis.* 58, 1-30. doi:10.1111/j.1865-1682.2010.01173.
- Barrow, P.A., Jones, M.A., Thomson, N., 2010. *Salmonella*. En: Gyles, S.L., Prescott, J.F., Songer, G., Thoen, C.O., Pathogenesis of bacteria infections in animals 4th Edition. Wiley-Blackwell, Ames-Iowa. pp. 231-265.
- Bastos T.S.A., Faria A.M., Madrid D.M.C., Bessa L.C., Linhares G.F.C., Fidelis Jr. O.L., Sampaio P.H., Cruz B.C., Cruvinel L.B., Nicaretta J.E., Machado R.Z., Costa A.J.D., Lopes W.D.Z., 2017. First outbreak and subsequent cases of *Trypanosoma vivax* in the state of Goiás, Brazil. *Rev. Brasileira Parasitologia Vet.* 26(3), 366-371.
- Benitez, D., Cetrá, B., Florin-christensen, M., 2012. *Rhipicephalus (Boophilus) Microplus* ticks can complete their life cycle on the water buffalo (*Bubalus bubalis*). *J. Buffalo Sci.* 1(2), 193-197.
- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J., Legarreta, I.G., 2020. Similarities and differences between river

buffaloes and cattle : health, physiological, behavioral and productivity aspects. J. Buffalo Sci. 9, 92-109. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.12>

Bock, R., Jackson, L., de Vos, A., Jorgensen, W., 2004. Babesiosis of cattle. Parasitol. 129(5), S247-S269. doi:10.1017/S0031182004005190.

Borriello(a), G., Lucibelli, M.G., Pesciaroli, M., Carullo, M.R., Graziani, C., Ammendola, S., Battistoni, A., Ercolini, D., Pasquali, P., Galiero, G., 2012. Diversity of *Salmonella* spp. serovars isolated from the intestines of water buffalo calves with gastroenteritis. BMC Vet. Res. 201. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-8-201>

Borriello(b), G., Lucibelli, M.G., De Carlo, E., Auriemma, C., Cozza, D., Ascione, G., Scognamiglio, F., Iovane, G., Galiero, G., 2012. Characterization of enterotoxigenic *E. coli* (ETEC), Shiga-toxin producing *E. coli* (STEC) and necrotoxicogenic *E. coli* (NTEC) isolated from diarrhoeic Mediterranean water buffalo calves (*Bubalus bubalis*). Res. Vet. Sci. 93, 18-22. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2011.05.009>

Boyce, J.D., Harper, M., Wilkie, I.W., Adler, B., 2010. Chapter 17. Pasteurella. En. Gyles, C.L., Prescott, J.F., Songer, C., Thoen, C.O. Pathogenesis of bacterial infections in animals 4th edition. Wiley-Blackwell, Ames Iowa EU.

- Calistri P, Iannetti S, Atzeni M, Di Bella C, Schembri P, Giovannini A. Risk factors for the persistence of bovine brucellosis in Sicily from 2008 to 2010., 2012. *Prev Vet Med.*,110:329–34.
- Campero, C.M., Pérez, A., Moore, D.P., Crudeli, G., Benitez, D., Draghi, M.G, Cano, D., Konrad, J.L., Odeón, A.C., 2007. Occurrence of antibodies against *Neospora caninum* in water buffaloes (*Bubalus bubalis*) on four ranches in Corrientes province, Argentina. *Vet. Parasitol.* 150, 155-158.
- Carvalho, O.S., Gonzaga, L.N.R., Albuquerque, A.S., Bezerra, D.C., Chaves, N.P., 2015. Occurrence of *Brucella abortus*, *Leptospira interrogans* and bovine herpesvirus type 1 in buffalo (*Bubalus bubalis*) herd under extensive breeding system. *Afr. J. Microbiol. Res.* 9, 598-603.
- Chauvin, A.C., Oreau, E.M., Onnet, S.B., Lantard, O.P., Alandrin, L.M., 2009. *Babesia* and its hosts: adaptation to long-lasting interactions as a way to achieve efficient transmission. *Vet. Res.* 40(37), 1-13. doi:10.1051/vetres/2009020
- Ciceroni, L, D'Aniello P, Russo N, Picarella D, Nese D, Lauria F, Pinto A, Cacciapuoti B.,1995. Prevalence of leptospire infections in buffalo herds in Italy. *Vet. Rec.* 19;137(8):192-3. doi: 10.1136/vr.137.8.192. PMID: 8560725.
- Clemente, V., Santana, A.M., Silva, D.G., Silveira, C.R.A., Pizauro, L.J.L, Clemente, Z., Fagliari, J.J, 2016. Acute phase response in buffalo calves experimentally infected with *Salmonella typhimurium*. *Pak. Vet. J.* 36, 153-158.

- Correa-Valencia N., García-Tamayo Y. M., Fernández-Silva J. A., 2018. *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* in Colombia (1924-2016): A review. *Rev. Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 31, 3.
- Costa, E.O., 2002. Influence of infections and infectious disease on buffaloes reproduction. *Proc. First Buffalo Symposium of Americas*, 1-8 September, Belem, Para, Brazil: 5-14.
- da Conceição, M. L., Conceição, E. C., Furlaneto, I. P., da Silva, S. P., dos Santos Guimarães, A. E., Gomes, P., y Lima, K. V. B., 2020. Phylogenomic perspective on a unique *Mycobacterium bovis* clade dominating bovine tuberculosis infections among cattle and buffalos in Northern Brazil. *Scientific Reports*, 10, 1-13. PMC7000724 DOI: 10.1038/s41598-020-58398-5
- da Silva JB, Nicolino RR, Fagundes GM, dos Anjos Bomjardim H, dos Santos Belo Reis A, da Silva Lima DH, et al., 2017. Serological survey of *Neospora caninum* and *Toxoplasma gondii* in cattle (*Bos indicus*) and water buffaloes (*Bubalus bubalis*) in ten provinces of Brazil. *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.* 52, 30-35. doi: 10.1016/j.cimid.2017.05.005
- da Silva, J.B., André, M.R., da Fonseca, A.H., de Albuquerque Lopes, C.T., da Silva Lima, D.H., de Andrade, S.J., 2013. Molecular and serological prevalence of *Babesia bovis* and *Babesia bigemina* in water buffaloes in the north region of Brazil. *Vet. Parasitol.* 197, 678-681.

- da Silva, J.B., Fonseca, A.H., Barbosa, J.D., Cabezas, A., de la Fuente, J., 2014. Low genetic diversity associated with low prevalence of *Anaplasma marginale* in water buffaloes in Marajó Island, Brazil. *Ticks Tick-Borne Dis.* 5(6), 801-804. doi:10.1016/j.ttbdis.2014.06.003
- da Silva, J.B., Gonçalves, L.R., Varani, M.A., André, M.R., Machado, R.Z., 2015. Genetic diversity and molecular phylogeny of *Anaplasma marginale* studied longitudinally under natural transmission conditions in Rio de Janeiro, Brazil. *Ticks Tick-Borne Dis.* 1-9. doi:10.1016/j.ttbdis.2015.04.002
- Dagnachew, S., Bezie, M., 2015. Review on *Trypanosoma vivax*. *Afr. J. Basic. Appl. Sci.* 7(1), 41-64.
- Dahl, M.O., 2020. Brucellosis in food-producing animals in Mosul, Iraq: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 9; 15, doi: 10.1371/journal.pone.0235862.
- Dalto, A. C., Bandarra, P. M., Pavarini, S. P., Boabaid, F. M., de Bitencourt, A. P. G., Gomes, M. P., 2012. Clinical and pathological insights into Johne's disease in buffaloes. *Tropical Animal Health and Production*, 44, 1899-1904.
- Davis, W. C., Khalid, A. M., Hamilton, M. J., Ahn, J. S., Park, Y. H., y Cantor, G. H., 2001. The use of crossreactive monoclonal antibodies to characterize the immune system of the water buffalo (*Bubalus bubalis*). *Journal of Veterinary Science*, 2, 103-110.

- de Barros, L.D., Garcia, J.L., Bresciani, K.D.S., Cardim, S.T., Storte, V.S., Headley, S.A., 2020. A Review of Toxoplasmosis and Neosporosis in Water Buffalo (*Bubalus bubalis*). *Front. Vet. Sci.* 7, 455. doi: 10.3389/fvets.2020.00455
- de Lisle, G. W., Mackintosh, C. G., y Bengis, R. G., 2001. *Mycobacterium bovis* in free-living and captive wildlife, including farmed deer. *Revue scientifique et technique* (International Office of Epizootics), 20, 86-111. <https://doi.org/10.20506/rst.20.1.1262>
- Denipitiya, D.T.H., Chandrasekharan, N.V., Abeyewickreme, W., Hartskeerl, R.A., Hapugoda, M.D., 2017. Identification of cattle, buffaloes and rodents as reservoir animals of *Leptospira* in the District of Gampaha, Sri Lanka. *BMC Res. Notes.* 10, 1-5.
- Desquesnes, M., Holzmüller, P., Lai, D.H., Dargantes, A., Lun, Z.R., Jittaplapong, S., 2013. *Trypanosoma evansi* and surra: a review and perspectives on origin, history, distribution, taxonomy, morphology, hosts, and pathogenic effects. *BioMed. Res. Internat.* 194176.
- Dos Santos, L. S., Sá, J. C., dos Santos Ribeiro, D. L., Chaves, N. P., da Silva Mol, J. P., Santos, R. L., y de Carvalho Neta, A. V., 2017. Detection of *Brucella* sp. infection through serological, microbiological, and molecular methods applied to buffaloes in Maranhão State, Brazil. *Trop. Anim. Health Prod.* 49, 675-679. DOI: 10.1007/s11250-017-1238-3

- Dragon, D. C. y Elkin B. T., 2001. An Overview of Early Anthrax Outbreaks in Northern Canada: Field Reports of the Health of Animals Branch, Agriculture Canada, 1962–71. 54 32-40
- Dubey, J.P., 2003. Review of *Neospora caninum* and neosporosis in animals. Korean. J. Parasitol. 41, 1-16.
- Dubey, J.P., 2010. Toxoplasmosis of Animals and Humans. 2nd edition. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- El-Deeb, W.M.,Younis, E.E., 2009. Clinical and biochemical studies on *Theileria annulata* in Egyptian buffaloes (*Bubalus bubalis*) with particular orientation to oxidative stress and ketosis relationship. Vet. Parasitol., 164, 301-305
- Elsify, A., Thillaiampalam, S., Mohammed, N., Akram, S., Ahmed, E., Mohamed, R., Omar, M., Khaled, S., Shimaa, E., Ikuo, I., Naoaki, Y., 2014. An epidemiological survey of bovine *Babesia* and *Theileria* parasites in cattle, buffaloes, and sheep in Egypt. Parasitol. Int. <http://dx.doi.org/10.1016/j.parint.2014.10.002>
- Farias B. M., Dos Santos BR. A., Diomedes B. J., Guimarães U. D., Castro P. A., Sampaio M. E., Baderira P. R., Feitosa P. A., Aparecido M., 2016. Paratuberculosis in buffaloes in Northeast Brazil. Trop. Anim. Health Prod. 48,1497-501. doi: 10.1007/s11250-016-1100-z.
- Fitzgerald, S. D., y Kaneene, J. B., 2013. Wildlife reservoirs of bovine tuberculosis worldwide: hosts, pathology, surveillance, and

- control. Vet. Pathol. 50, 488-499. <https://doi-org.proxy.library.uu.nl/10.1177%2F030098581246747>.
- Fosgate, G. T., Diptee, M. D., Ramnanan, A., y Adesiyun, A., 2011. Brucellosis in domestic water buffalo (*Bubalus bubalis*) of Trinidad and Tobago with comparative epidemiology to cattle. Trop. Anim. Health Prod. 43, 1479-1486.
- Fraga, T.R., Carvalho, E., Isaac, L., Barbosa, A.S., 2015. Leptospira and leptospirosis. En: Molecular Med. Microbiol. 1973-1990. Academic Press.
- Franzolin, N.R., Dell'Porto, A., Ruiz, R.L., 1989. Anaplasmosis and babesiosis: a clinical case in buffalo (*Bubalus bubalis*) calf in Brazil. Buffalo Bull. 8, 54-68.
- Fraulo, P. and Galiero, G., 1999. Buffalo Brucellosis: epidemiologic survey in Salerno province (Italy). Bubalus bubalis, II, 59-64.
- Fujii, T.U., Kasai, N., Nishi, S.M., Dubey, J.P., Gennari, S.M., 2001. Seroprevalence of *Neospora caninum* in female water buffaloes (*Bubalus bubalis*) from the southeastern region of Brazil. Vet. Parasitol. 99, 331-334.
- Galiero, G., Conedera, G., Alfano, D., Caprioli, A., 2005. Isolation of verocytotoxin-producing Escherichia coli O157 from water buffaloes (*Bubalus bubalis*) in southern Italy. Vet Rec. 156, 382-383. doi: <https://10.1136/vr.156.12.382>. PMID: 15816184.
- García Muñoz, R. A., 2018. Determinación de la prevalencia a brucelosis en búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) en cuatro

unidades de producción de los estados de Tabasco y Veracruz de la región tropical de la República Mexicana. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, Amecameca.

- Garcia, H., Garcia, M.E., Perez, H., Mendoza-Leon, A., 2005. The detection and PCR-based characterization of the parasites causing trypanosomiasis in water buffalo herds in Venezuela. *Annals of Trop. Med. Hygiene*. 75(3), 471-473.
- Garcia, H.A., Ramirez, O.J., Rodrigues, C.M.F., Sanchez, R.G., Bethencourt, A.M., Del M.P.G., et al., 2016. *Trypanosoma vivax* in water buffalo of the Venezuelan llanos: an unusual outbreak of wasting disease in an endemic area of typically asymptomatic infections. *Vet. Parasitol.* 230, 49-55.
- Guanziroli, M.C., Cicuta M.E., Zumárraga, M.J., 2008. Romano, M. Primer aislamiento de *Mycobacterium bovis* de búfalo del nordeste argentino. *Rev. Vet.* 19, 143–146.
- Guarino, A., Fusco, G., Savini, G., Di Francesco, G., Cringoli, G., 2000. Neosporosis in water buffalo (*Bubalus bubalis*) in southern Italy. *Vet. Parasitol.* 91, 15-21.
- Guedes, I. B., de Souza, G. O., de Paula Castro, J. F., de Souza Filho, A. F., Cavalini, M. B., Taniwaki, S.A., Maia, P.A.L., Pereira, I.C., Heinemann, M.B., 2020. Identification of pathogenic *Leptospira* species in the urogenital tract of water buffaloes (*Bubalus bubalis*) from the Amazon River Delta region, Brazil. *Frontiers Vet. Sci.* 7. [https://doi: 10.3389/fvets.2020.00269](https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00269)

- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. 2019a. El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales. Segunda edición. México, Editorial BM Editores. Ciudad de México. p.p. 1-881.
- Guerrero-Legarreta, I., Mota-Rojas, D., Ramírez-Bribiesca, E., Mora-Medina, P., Cruz-Monterrosa, R., Bertoni, A., José, P.N., Torres, F., Ramírez, N.R. Álvarez-Macías, A., 2019b. Capítulo 6. El búfalo de agua productor de carne por el mundo: indicadores productivos y sanitarios. In: Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., & Orihuela, A. (Ed.), El búfalo de agua en las Américas. México. BM Editores. pp. 193-224.
- Guimaraes, J.S., Souza, S.L.P., Bergamaschi, D.P., Gennari S.M., 2004. Prevalence of *Neospora caninum* antibodies and factors associated with their presence in dairy cattle of the north of Paraná state, Brazil. Vet. Parasitol. 124, 1-8.
- Gutiérrez, V.A., Hurtado, L.N., Cerón-Muñoz, M., 2006. Estimativas de factores de corrección para duración de la lactancia, edad y época de parto en búfalas de la Costa Atlántica Colombiana. Livest. Res. Rural Dev. 18,4.
- Guy, C.S., Williams, D.J.L., Kelly, D.F., McGarry, J.W. Guy F., Björkman, C., Smith, R.F., Trees. A.J., 2001. *Neospora caninum* in persistently infected, pregnant cows: spontaneous transplacental infection is associated with an acute increase in maternal antibody. Vet. Rec. 149, 443-449.

- Gyles, C. L., Prescott, J. F., Songer, J. G., y Thoen, C. O. (Eds.), 2008. Pathogenesis of bacterial infections in animals. John Wiley & Sons.
- Gyles, C.L., Fairbrother, J.M., 2010. *Escherichia coli*. En: Gyles, S.L., Prescott, J.F., Songer, G., Thoen, C.O., Pathogenesis of bacteria infections in animals 4th Edition. Wiley-Blackwell, Ames-Iowa. pp. 267-308.
- Hajikolaei, M.R., Nikvand, A.A., Ghadr-danmashhadi, A.R., Ghorbanpoor, M., Mohammadian, B., Abdollahpour, G., 2016. Existence of *Leptospira interrogans* in kidney and shedding from urine and relationship with histopathological and serological findings in water buffaloes (*Bubalus bubalis*) Rev. Méd. Vet. 167, 269-273.
- Harsojo, H., Sari, S.Y., 2015. Bacterial Diversity in Buffalo Meat and Bowel from Traditional Market and the Sensitivity of Some Bacteria to Irradiation and Antibiotics. Atom. Indonesia 41, 79-85.
- Haydon, D. T., Cleaveland, S., Taylor, L. H., Laurenson, M. K. (2002). Identifying reservoirs of infection: a conceptual and practical challenge. Emerging Infectious Diseases, 8(12), 1468–1473.
- Hein, W. R., y Tomasovic, A. A., 1981. An abattoir survey of tuberculosis in feral buffaloes. Australian Vet. J. 57, 543-547.
- Hemati, Z., Haghkhah, M., Derakhshandeh, A., Chaubey, K. K., & Singh, S. V., 2020. Novel recombinant Mce-truncated protein based ELISA for the diagnosis of *Mycobacterium avium* subsp.

- paratuberculosis infection in domestic livestock. PloS one, 15, 95.
- Hernández-Velasco, A., Sánchez-Montes, S., Romero-Salas, D., Cruz-Romero, A., Jiménez-Hernández, J.A., Becker, I., Aguilar-Domínguez, M., Pérez de León, A., 2020. First record of natural infection with *Anaplasma marginale* in sucking lice infesting the water buffalo (*Bubalus bubalis*) in Mexico. Parasitol. Res. 119(11), 3853-3856.
- Hosein, H. I., Hoda Mohamed, Z. H., Mohamed, S. N., Menshaw, M., Rouby, S., Mahrous, A., El-deen, M. B., 2018. Evaluation of the General Organization of Veterinary Services control program of animal brucellosis in Egypt: An outbreak investigation of brucellosis in buffalo. Vet World. 11, 748–757. doi: 10.14202/vetworld.2018.748-757
- Islam, KS, MHB Kabir, MH Rahman and MH Kabir, 2016. Status of buffalo diseases in Bangladesh in relation to casual agents and predisposing factors. Inter. J. Life Sci. Techno., 9: 44-50.
- Jaimes-Dueñez, J., Triana-Chávez, O., Holguín-Rocha, A., Tobón-Castaño, A., Mejía-Jaramillo, A.M., 2018. Molecular surveillance and phylogenetic traits of *Babesia bigemina* and *Babesia bovis* in cattle (*Bos taurus*) and water buffaloes (*Bubalus bubalis*) from Colombia. Parasit. Vectors. 11(510), 1-12
- Jaimes-Dueñez, J., Triana-Chávez, O., Mejía-Jaramillo, A.M., 2017. Parasitological and molecular surveys reveal high rates of

- infection with vector-borne pathogens and clinical anemia signs associated with infection in cattle from two important livestock areas in Colombia. *Ticks Tick-Borne Dis.* 8, 290-299.
- Jara, V.J., Chávez, V.A., Casas, A.E., Sánchez, P.N., Moreno-López, J., Merza M., 2011. Determinación de anticuerpos contra *Neospora caninum* en búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) en la Amazonía peruana. *Rev. Investig. Vet. del Perú.* 22, 61–5. doi: 10.15381/rivep.v22i1.123
- Jojoa-Jojoa, J., Wintaco, M., Osorio, F., Puerto-Castro, G., y Guerrero-Guerrero, M., 2016. First approach to molecular epidemiology of bovine tuberculosis in Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 21, 5222-5236. <https://revistamvz.unicordoba.edu.co/article/view/32/64>
- Kanameda, M., y Ekgatat, M., 1995. Isolation of *Mycobacterium bovis* from the water buffalo (*Bubalus bubalis*). *Tropical Animal Health and Production*, 27, 227-228. <https://doi.org/10.1007/bf02250697>
- Khan, A. U., Melzer, F., Hendam, A., Sayour, A. E., Khan, I., Elschner, M. C., y El-Adawy, H., 2020. Seroprevalence and Molecular Identification of *Brucella* spp. in Bovines in Pakistan—Investigating Association with Risk Factors using Machine Learning. *Front. Vet. Sci.* 7. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.594498>

- Kocan, K.M., de la Fuente, J., Blouin, E., Coetzee, J.F., Ewing, S.A., 2010. The natural history of *Anaplasma marginale*. Vet. Parasitol. 167, 95-107. doi:10.1016/j.vetpar.2009.09.012
- Konrad, J.L., Campero, L.M., Caspe, G.S., Brihuega, B., Draghi, G., Moore, P.D., Crudeli, G.A., Venturini, M.C., Campero, C.M., 2013. Detection of antibodies against *Brucella abortus*, *Leptospira* spp., and Apicomplexa protozoa in water buffaloes in the Northeast of Argentina. Trop. Anim. Health. Prod. 45, 1751–1756. <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0427-y>.
- Lu Z., Mitchell R. M., Smith R.L., Van Kessel J. S., Chapagain P. P., Schukken Y.H., Grohn Y.T., 2008. The importance of culling in Johne's disease control. J. Theor. Biol. 254,135–46.
- Mahmmod, Y., 2014. Natural *Babesia bovis* infection in water buffaloes (*Bubalus bubalis*) and crossbred cattle under field conditions in Egypt: a preliminary study. J. Arthropod-Borne Disease. 8(1), 1-9.
- Martucciello, A., Vitale, N., Mazzone, P., Dondo, A., Archetti, I., Chiavacci, L., y De Carlo, E., 2020. Field evaluation of the interferon gamma assay for diagnosis of tuberculosis in water buffalo (*Bubalus bubalis*) comparing four interpretative criteria. Frontiers Vet. Sci. 1;7,563792. doi: 10.3389/fvets.2020.563792.
- Megid, J., Paes, A. C., Listoni, F. P., Ribeiro, M. G., Ueno, T., Albert, D., y Pinto, M. R. A., 2005. Isolation of *Brucella abortus* from

- cattle and water buffalo in Brazil. *Vet. Rec.* 156(5), 147–148.
<https://doi.org/10.1136/vr.156.5.147>.
- Mendes, A., Lima, F., 2011. Aspectos nutricionales del búfalo. *Rev. Tecnol. Marcha.* 24, 105-120.
- Mitat, V., 2011. Antecedentes y perspectivas de la actividad bufalina en el trópico. *Rev. Tecnol. Marcha.* 24, 121.
- Mohan, R. N., 1968. Diseases and parasites of Buffaloes. Part II. Bacterial and fungal diseases. *Vet. Bulletin, Weybridge*, 38, 647-659. <https://doi-org.proxy.library.uu.nl/10.1177%2F030098581246747>
- Mohan, R. N., 1968. Diseases and parasites of Buffaloes. Part II. Bacterial and fungal diseases. *Veterinary Bulletin, Weybridge*, 38, 647-659. <https://doi-org.proxy.library.uu.nl/10.1177%2F030098581246747>
- Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A., Martínez-Burnes, J., Álvarez-Macías, A., Orihuela, A., 2020. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 9,2103. <https://doi.org/10.31893/jabb.21003>
- Muturi, M., Gachohi, J., Mwatondo, A., Lekolool, I., Gakuya, F., Bett, A., y Njenga, M. K., 2018. Recurrent anthrax outbreaks in humans, livestock, and wildlife in the same locality, Kenya, 2014–2017. *Am. J. Tropical Med. Hygiene.* 99, 833-839.

- Nasir, A., Ashraf, M., Khan, M.S., Yaqub, T., Javeed, A., Avais, M., et al., 2011. Seroprevalence of *Neospora caninum* in dairy buffaloes in Lahore District, Pakistan. J. Parasitol. 97, 541-543. doi: 10.1645/GE-2687.1
- Neveu-Lemaire, M., 1912. Genera *Theileria* ou piroplasmes bacilliformes M. Neveu-Lemaire (Ed.), Parasitologie des animaux domestiques, Lamarre, Paris, pp. 286-291.
- Nizza, S., Mallardo, K., Marullo, A., Iovane, V., De Martino, L., Pagnini, U., 2010. Antibiotic susceptibility of haemolytic *E. coli* strains isolated from diarrhoeic faeces of buffalo calves. Ital. J. Anim. Sci. 9, e26.
- Obregón, D., Cabezas, A., Armas, Y., Silva, J.B., Fonseca, A.H., André, M.R., Alfonso, P., Oliveira, M.C.S., Machado, R.Z., Corona-González, B., 2019. High co-infection rates of *Babesia bovis*, *Babesia bigemina*, and *Anaplasma marginale* in water buffalo in Western Cuba. Parasitol. Res. 118, 955-967.
- Obregón, D., Corona-González, B., Cabezas, A. et al., 2018. Molecular evidence of the reservoir competence of water buffalo (*Bubalus bubalis*) for *Anaplasma marginale* in Cuba. Vet. Parasitol. Reg. Stud. Reports. 13, 180-187. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2018.06.007>
- Obregón, D., Corona-González, B., Díaz-Sánchez, A.A., Armas, Y., Roque, E., de Sena Oliveira, M.C., Cabezas, A., 2020. Efficient transovarial transmission of *Babesia* spp. in

Rhipicephalus microplus ticks fed on water buffalo (*Bubalus bubalis*). Pathogens. 9, 280.

- OIE, Organización Mundial de Sanidad Animal., 2018. Capítulo 3.1.12. Leptospirosis. Manual terrestre de la OIE. Disponible en: https://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahm/3.01.12_Leptospirosis.pdf
- OIE., 2014. Babesiosis bovina. In: Manual de la OIE sobre animales terrestres (pp. 1-16). OIE. Disponible en: <http://www.oie.int>
- Paradiso, R., Orsini, M., Criscuolo, D., Borrelli, R., Valvini, O., Cammà, C., Chiusano, M.L., Galiero, G., Borriello, G., 2018. Complete Genome Sequencing of 10 *Brucella abortus* Biovar 3 Strains Isolated from Water Buffalo. Genome Announc. 6, 180-18. <https://doi.org/10.1128/genomeA.00180-18>
- Payne, R.C., Sukanto, I.P., Djauhari, D., Partoutomo, S., Wilson, A.J., Jones, T.W., Boid, R., Luckins, A.G., 1991. *Trypanosoma evansi* infection in cattle, buffaloes and horses in Indonesia. Vet. Parasitol. 38,109-119.
- Pérez, H.A.G., Rodrigues, C.M.F., Pivat, I.H.V., Fuzato, A.C.R., Camargo, E.P., Minervino, A.H.H., Teixeira, M.M.G., 2020. High *Trypanosoma vivax* infection rates in water buffalo and cattle in the Brazilian Lower Amazon. Parasitol. Int. 79, 102162.
- Perret, P. C., Maggi C. L., Pavletic B. C., Vergara F. R., Abarca V. K., Dabanch P. J., González C. C., Olivares C. R., Rodríguez T. J.,

2001. Ántrax (Carbunco) Comité de Infecciones Emergentes, Sociedad Chilena de Infectología. Rev. Chil. Infectol. 18; 4
- Persad, A., Charles, R., Adesiyun, A.A., 2011. Frequency of toxoplasmosis in water buffalo (*Bubalus bubalis*) in Trinidad. Vet. Med. Int. 705358. doi: 10.4061/2011/705358
- Perumal, P., Chamuah, J K., Srivastava, N., Vupru, K., Srivastava, S.K., 2013. Infectious causes of infertility in buffalo bull (*Bubalus bubalis*). Inter. J. Bio-res. Str. Man. 4, 84-90.
- Rivera, S., Forastiero A., Rios M., López C., Rosales D., Tamasaukas R., Agudo L., 2016 IFN- γ como marcador de la respuesta inmunitaria en búfalos de agua vacunados con RB51. Redvet 17, 1-17.
- Romero-Salas, D., Mira, A., Mosqueda, J., García-Vázquez, Z., Hidalgo-Ruiz, M., Vela, N.A., Pérez de León, A.A., Florin-Christensen, M., Schnittger, L., 2016. Molecular and serological detection of *Babesia bovis*- and *Babesia bigemina*-infection in bovines and water buffaloes raised jointly in an endemic field. Vet. Parasitol. 217, 101-107.
- Rosales, D., Lugon, A., Andueza, F., López, A., Morales, A., Bolivar, A., 2015. Pesquisa serológica y molecular de *Brucella* spp, en un rebaño bufalino lechero en la cuenca del sur del lago de Maracaibo, Venezuela. Salud Animal 37: 112-117.
- Samartino, L. E., 2002. Brucellosis in Argentina. Veterinary Microbiology, 90, 71-80.

- Satish, S.K., Nirwan, S.S., Chahar, N., 2019. Current status of abortion in buffalo (*Bubalus bubalis*) associated with infectious agents: A short communication. *J. Entomol. Zool. Stud.* 7, 1328-1334.
- Scoles, G.A., Miller, J.A., Lane, D.F., 2008. Comparison of the efficiency of biological transmission of *Anaplasma marginale* (*Rickettsiales: Anaplasmataceae*) by *Dermacentor andersoni* Stiles (*Acari: Ixodidae*) with mechanical transmission by the horse fly, *Tabanus fuscicostatus* Hine (*Diptera: Muscidae*). *J. Med. Entomol.* 45(1), 109-114.
- Silveira, J.A.G., de Oliveira, C.H.S., Silvestre, B.T., Albernaz, T.T., Leite, R.C., Barbosa, J.D., et al., 2016. Molecular assays reveal the presence of *Theileria* spp. and *Babesia* spp. in Asian water buffaloes (*Bubalus bubalis*, Linnaeus, 1758) in the Amazon region of Brazil. *Ticks Tick- Borne Dis.* 7, 1017-1023.
- Singh, S. V., Singh, A. V., Singh, R., Sharma, S., Shukla, N., & Misra, S., 2008. Seroprevalence of Johne's disease in buffaloes and cattle population of India by indigenous ELISA kit using PPA from *Mycobacterium avium* subspecies *paratuberculosis* 'bison type' genotype of goat origin. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis*, 31, 419-33.
- Sivakumar, P., Tripathi, B. N., Singh N., Sharma, A.K., 2006. Pathology of Naturally Occurring Paratuberculosis in Water Buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Vet. Pathol.* 43,455–462.

- Sivakumar, T., Tattiyapong, M., Fukushi, S., Igarashi, I., Yokoyama, N., 2014. Genetic characterization of *Babesia* and *Theileria* parasites in water buffaloes in Sri Lanka. *Vet. Parasitol.* 200(1-2), 24-30. doi:10.1016/j.vetpar.2013.11.029
- Sousa, M., Salvarani F., Bomjardim H., Fonseca A., Preis I., Brito M., Leite R., Barbosa J., 2015. Infección transplacentaria e intrauterina por *Brucella abortus* en búfalos de agua (*Bubalus bubalis*), *Pesq. Vet. Bras.*, 35, 882-888.
- Suwancharoen, D., Chaisakdanugull, Y., Thanapongtharm, W., Yoshida, S., 2013. Serological survey of leptospirosis in livestock in Thailand. *Epidemiol. Infect.* 141, 2269-2277.
- TCFSPH. The Center for Food Security and Public Health (2009). Septicemia hemorrágica. Institute for Animal Cooperation in Animal Biologics. Iowa State University.
- Tittarelli, M., Atzeni, M., Calistri, P., Di Giannatale, E., Ferri, N., Marchi, E., y De Massis, F., 2015. water buffaloes (*Bubalus bubalis*) vaccinated with *Brucella abortus* strain RB51 vaccine. *Vet. Ital.* 51, 99-105.
- Uilenberg, G., 2006. *Babesia*: a historical overview. *Vet. Parasitol.* 138, 3-10. doi:10.1016/j.vetpar.2006.01.035
- van der Heijden, E. M., Cooper, D. V., Rutten, V. P., y Michel, A. L., 2020. *Mycobacterium bovis* prevalence affects the performance of a commercial serological assay for bovine tuberculosis in African buffaloes. *Comparative Immunology*,

Microbiol. Infectious Diseases. 70, 10-13. PMID: 31718809
DOI: 10.1016/j.cimid.2019.101369

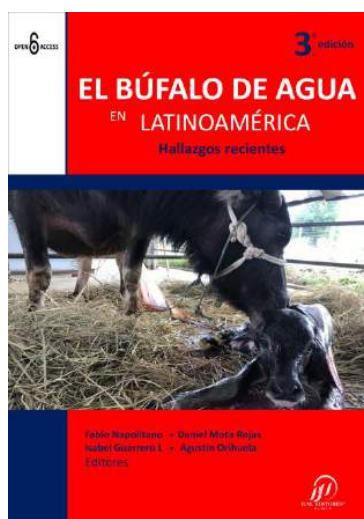
- Vázquez, M, C. T., 2012. Diagnóstico y estimación de factores de riesgo de paratuberculosis en búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) de la zona sur del Estado de Veracruz; Doctoral dissertation, Universidad Veracruzana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Región Veracruz.
- Verloo, D., Holland, W., My, L. N., Thanh, N. G., Tam, P.T., Goddeeris, B., Vercruysse, J., Büscher, P., 2000. Comparison of serological test for *Trypanosoma evansi* natural infections in water buffaloes from North Vietnam. Vet. Parasitol. 92, 87-96.
- Vinodkumar, K., Shyma, V., Justin, D.K., Ashok, S., Anu, J.P., Mini, K., Muhammedkutty, V., Sasidharan, S., 2016. Fatal *Theileria orientalis* N2 genotype infection among Asian water buffaloes (*Bubalis bubalis*) in a commercial dairy farm in Kerala, India. Parasitol. 143(1), 69-74.
- Whittington R., 2019. Control of paratuberculosis: who, why and how. A review of 48 countries. BMC Vet. Res. 15:198.
<https://doi.org/10.1186/s12917-019-1943-4>
- Zaman, T., Khan, A., Akhtar, M. Z., 2006. Some of the risk factors of niliravi buffalo (*Bubalus bubalis*) neonatal calf mortality in Pakistan. Pak. Vet. J. 26, 121-125.



CAPÍTULO 22

TERMORREGULACIÓN DEL BÚFALO DE AGUA: MECANISMOS NEUROBIOLÓGICOS, CAMBIOS MICROCIRCULATORIOS Y APLICACIONES PRÁCTICAS DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA

Daniel Mota-Rojas, Alsaied Alnaimy Habeeb, Marcelo Daniel Ghezzi, P. Ravi Kanth Reddy, Fabio Napolitano, Pamela Anahí Lendez, Alex Cuibus, María Carolina Ceriani, Juliana Sarubbi, Ada Braghieri, Julio Martínez-Burnes, Aldo Bertoni, Jocelyn Gómez-Prado y Agustín Orihuela



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 22

Termorregulación del búfalo de agua: mecanismos neurobiológicos, cambios microcirculatorios y aplicaciones prácticas de la termografía infrarroja

Daniel Mota-Rojas¹, Alsaied Alnaimy Habeeb², Marcelo Daniel Ghezzi³, P. Ravi Kanth Reddy⁴, Fabio Napolitano⁵, Pamela Anahí Lendez⁶, Alex Cuibus⁷, María Carolina Ceriani⁶, Juliana Sarubbi⁸, Ada Braghieri⁵, Julio Martínez-Burnes⁹, Aldo Bertoni¹, Jocelyn Gómez-Prado¹ y Agustín Orihuela¹⁰

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México.

²Biological Applications Department, Radioisotopes Applications Division, Nuclear Research Center, Atomic Energy Authority, Inshas, Cairo, Egypt.

³Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

⁴Animal Husbandry Department, Veterinary Dispensary, Taticherla, Prakasam District. Andhra Pradesh, India.

⁵Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

⁶Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Tandil, Veterinary Research Center (CIVETAN), CONICET-CICPBA, Tandil, Argentina

⁷Faculty of Animal Science and Biotechnologies. University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine of Cluj-Napoca, Romania.

⁸Departamento de Zootecnia y Ciencias Biológicas de la Universidad Federal de Santa María (UFSM) y Coordinadora del Laboratorio Ambiente y Bienestar Animal (UFSM). Brasil.

⁹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México.

¹⁰Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

INTRODUCCIÓN

La regulación de la temperatura es un mecanismo adaptativo que se adquiere con la evolución, ya que solo las aves y los mamíferos (homeotermos o endotermos) tienen la capacidad de generar respuestas fisiológicas al frío y el calor. La termorregulación en

animales homeotermos se basa en respuestas fisiológicas y de comportamiento (Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b).

En el caso de los mamíferos, existen especies con gran capacidad de perder calor a través del sudor (i.e. humano, caballo) así como otras con limitada o nula capacidad de sudoración [i.e. perro, gato, cerdo y búfalo, que poseen muy pocas glándulas sudoríparas] (Ruiz et al., 2012).

El búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) tiene un sistema termorregulador ineficiente frente al calor extremo: su escaso pelaje apenas le protege, y la piel negra con melanina absorbe el calor, ocasionando que su temperatura se eleve rápidamente. Sin embargo, estas partículas de melanina atrapan los rayos ultravioletas y evitan que penetren a través de la dermis de la piel hasta capas de tejido más interno. En los trópicos y subtrópicos la radiación solar por rayos ultravioleta es abundante, y la exposición excesiva de la piel a ésta puede ser perjudicial (Ablas et al., 2007; Bertoni et al., 2019a,b; Marai y Habeeb, 2010).

En el búfalo, además, la cantidad de folículos pilosos se calcula entre 135 y 145 por cm^2 , en comparación por ejemplo con el cebú, que tienen alrededor de 3000 folículos por cm^2 . Esta limitada cantidad de folículos tiene doble efecto: por un lado, facilita la disipación del calor, y por otro, expone la piel a la acción directa de la radiación solar

(Zicarelli, 2016). Además, como se mencionó anteriormente, los búfalos poseen una menor densidad de glándulas sudoríparas, sin embargo, éstas comúnmente son más grandes y con mayor capacidad de termorregulación (Zicarelli, 2016; Bertoni et al., 2019c).

RESPUESTAS FISIOLÓGICAS FRENTE A CAMBIOS EXTREMOS DE TEMPERATURA

En el búfalo de agua, al detectarse un aumento de temperatura a partir de termorreceptores centrales y periféricos, se inician cambios fisiológicos y comportamentales característicos de la especie (i.e. sumergirse en zonas inundables y pantanosas; la búsqueda de sombra) que trabajan de manera conjunta para lograr un estado de confort térmico en el animal (Aggarwal y Upadhyay, 2013; Klein, 2014).

Dichos comportamientos contribuyen a la pérdida de calor con rapidez, posiblemente porque la piel negra de los búfalos está provista de un buen número de vasos sanguíneos que se vasodilatan para facilitar la disipación del calor mientras permanecen en el lodo o el agua, equiparando el resultado con los animales que sí pueden sudar (Aggarwal y Upadhyay, 2013; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b; Khongdee et al., 2011; Oliveira et al., 2013; Mota-Rojas et al., 2019b,c; Mota-Rojas et al., 2020a,b) (**Figura 1**).

A pesar de que las charcas favorecen mecanismos esenciales para que el búfalo logre un equilibrio térmico (aspecto clave involucrado en el

nivel de bienestar animal) a menudo los productores descuidan este ámbito (Sevegnani et al., 2016).

La evidencia científica señala una influencia directa de los factores ambientales sobre las variables fisiológicas de los animales y que durante períodos con temperaturas ambientales elevadas, se reduce la producción de leche, el crecimiento y la fertilidad del búfalo (Marai y Habeeb, 2010). Además se ha demostrado que el estrés por calor afecta la expresión génica de ciertas citoquinas y de sus receptores y, en consecuencia, al sistema inmune de estos animales (Lendez et al., 2020; Lendez et al., 2021)

En condiciones de pastoreo, el búfalo pasa la mayor parte de su tiempo en dos categorías principales de comportamiento: alimentación (incluyendo pastoreo y rumia) y descanso. El revolcarse y enlodarse, particularmente en la estación cálida, representan comportamientos específicos del búfalo que le permiten la termorregulación y la protección contra ectoparásitos (**Figura 2**).

El confinamiento, tal como se realiza actualmente en condiciones intensivas, previene algunos de estos comportamientos naturales, como el pastoreo y el revolcarse, y por lo tanto aumenta la expresión de comportamientos no deseados, como las interacciones excesivamente agresivas y la succión o vicios orales (comportamiento redirigido), lo que representa además un factor de riesgo potencial

para el bienestar (Mora-Medina et al., 2018a, 2018b; Napolitano et al., 2013).

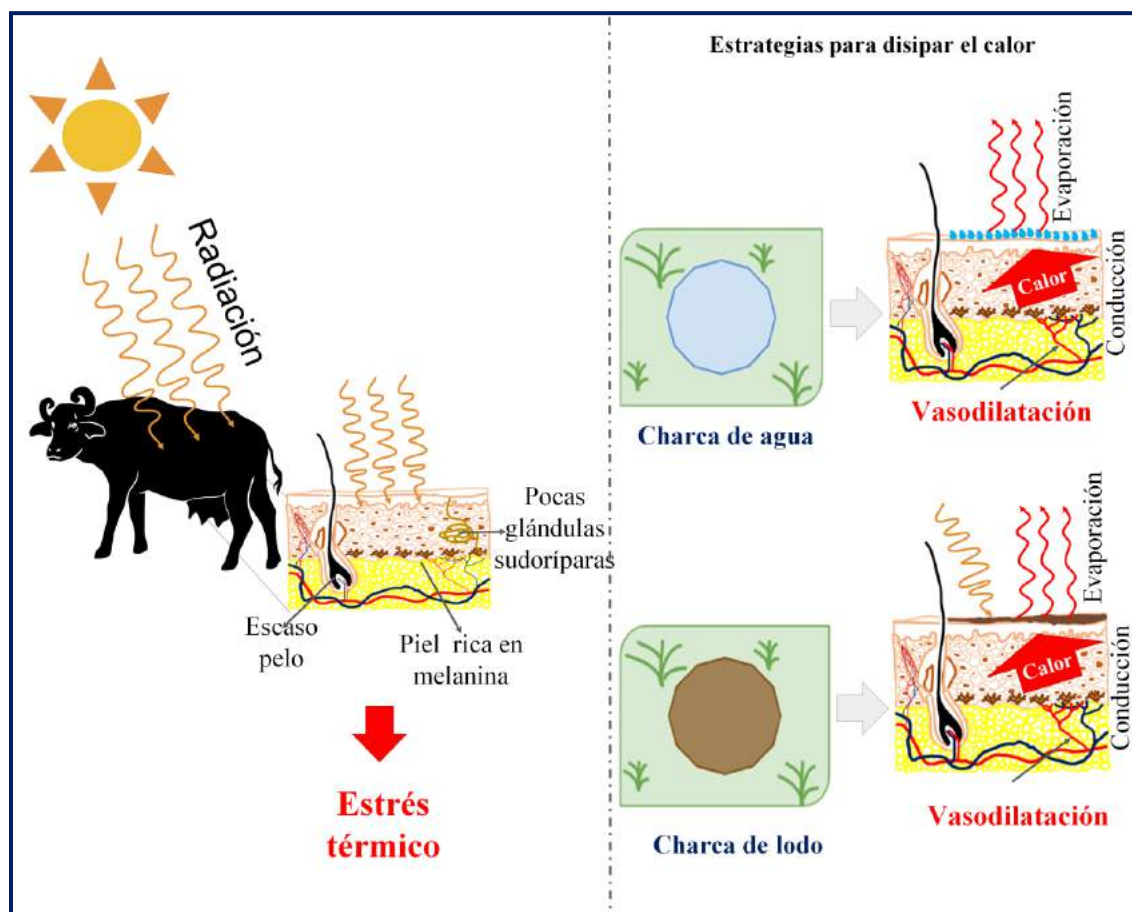


Figura 1. Efecto de la radiación solar en el búfalo de agua y las estrategias termorreguladoras que desarrolla para disipar el calor. El búfalo de agua posee un número reducido de folículos pilosos (135-145 por cm^2 ; Zicarelli, 2016), así como una piel rica en melanina, que en conjunto propician la absorción de una gran cantidad de radiación solar. Dado que esta especie cuenta con una limitada capacidad de sudoración debido a sus escasas glándulas sudoríparas, se encuentra susceptible a sufrir estrés calórico (Marai y Habeeb, 2010). Para lograr disipar el calor recibido y termoregularse, inician respuestas conductuales, como la inmersión en zonas inundables, que contribuyen a la pérdida de calor. Por un lado, el sumergirse en agua colabora junto con la vasodilatación periférica para disipar el calor; el calor transportado por los vasos sanguíneos se transfiere al agua que recubre la superficie cutánea, la cual eventualmente se evapora, disminuyendo así la temperatura superficial del búfalo (Khongdee et al., 2011). La inmersión en lodo, junto con la vasodilatación periférica, conduce a la pérdida de calor por evaporación, a través del proceso explicado anteriormente. Aunado a ello, la capa de lodo brinda cierta protección contra los rayos solares.

El búfalo es particularmente susceptible al estrés calórico, especialmente cuando se expone directamente a los rayos del sol, ya que tienen un mecanismo de enfriamiento por evaporación cutánea deficiente (Das y Khan, 2010), por lo que, se recomienda proveerles de agua para revolcarse o sombra (Desta, 2012).

Además de que el sumergirse en agua los protege de parásitos externos (Berdugo-Gutiérrez et al., 2017; Bertoni et al., 2019c; De Rosa et al., 2005), reduce significativamente la temperatura rectal, la ingesta de agua, la triyodotironina libre (indicador de cambios metabólicos relacionados con cambios en la ingesta de alimento, asociados con cambios en la temperatura y humedad ambiental) (Dimri et al., 2010; Khongdee et al., 2011; Zhengkang et al., 1994).



Figura 2. Termorregulación en búfalos de agua en el trópico húmedo latinoamericano, frente a temperaturas extremas que pueden rebasar 40°C en verano.

Al proporcionar techo y sombra a búfalos jóvenes se reduce el estrés calórico, la temperatura rectal y el cortisol plasmático (Khongdee et al., 2013). Los efectos de sombra además, se traducen en mayores ganancias de peso en comparación con los animales mantenidos directamente bajo el sol. Aunado a lo anterior, disminuye la frecuencia respiratoria (Castro et al., 2008). Cuando se expone a búfalas jóvenes a la radiación directa desde 11:00 a las 16:00 horas durante el verano, se

observa lengua protruida (expuesta), espumeo por salivación excesiva y jadeo (hiperventilación); todos ellos signos de hipertermia debido al estrés calórico (Das et al., 1999) (**Figura 3**).

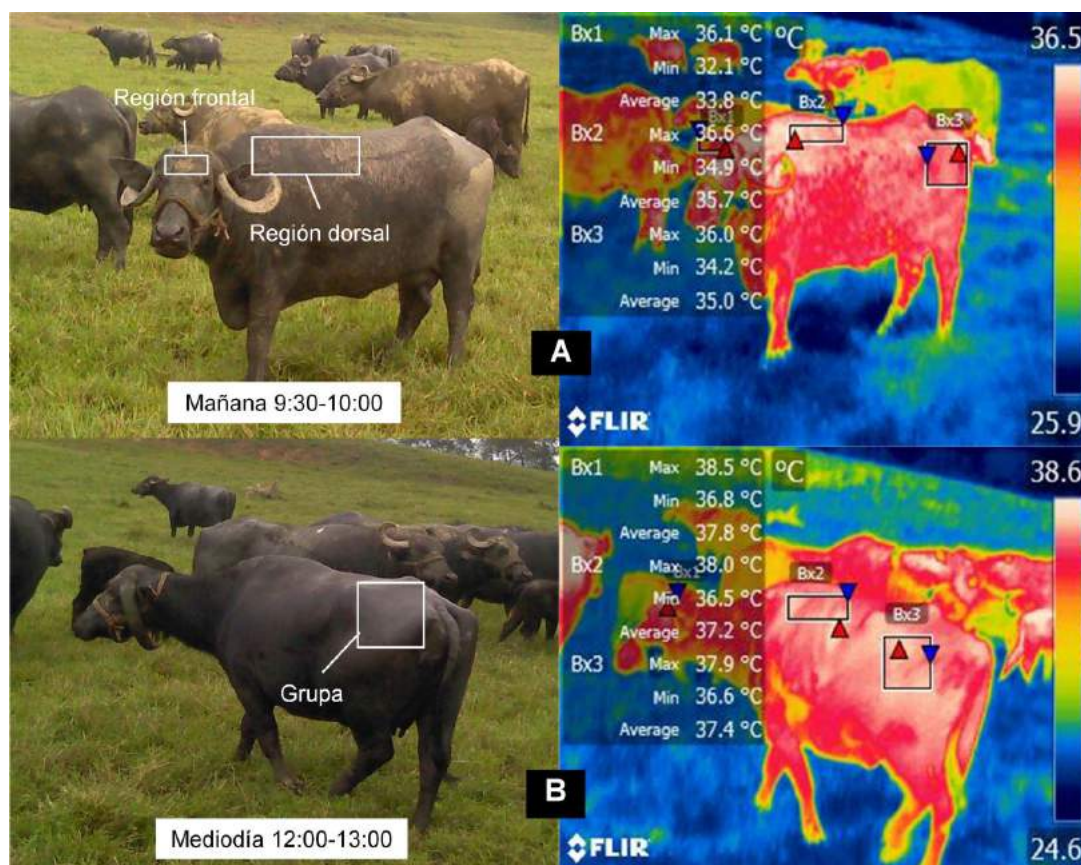


Figura 3. Impacto de la radiación solar sobre la temperatura superficial del búfalo de agua, de acuerdo a la hora del día en el trópico húmedo con rangos de temperatura ambiental entre 30-38°C. A) Mañana. Se aprecia que la región frontal (rectángulo Bx1), la región dorsal (rectángulo Bx2) y la grupa (rectángulo Bx3) son las zonas más calientes, pues presentan una temperatura máxima igual o superior a los 36°C, que se puede relacionar con la incidencia directa de los rayos solares sobre la superficie de estas áreas. B) Mediodía. La región frontal (rectángulo Bx1), la región dorsal (rectángulo Bx2) y la grupa (rectángulo Bx3) continúan registrando las temperaturas más elevadas, siendo la región frontal el área donde se presenta la temperatura máxima más alta (38.5°C). Sin embargo, se observa que la temperatura máxima en estas regiones es al menos 1.9°C mayor que la presentada en la mañana, lo cual se asocia con un incremento de la radiación solar a mediodía, sugiriendo que entre las 12:00 y 13:00 horas, el búfalo se encuentra más susceptible a experimentar estrés por calor (Emisividad 0.95).

En el otro extremo climático, es interesante preguntar ¿qué ocurre cuando el búfalo de agua se expone a ambientes fríos y temperaturas de congelación o bajo cero? (**Figura 4**). Por lo general, se mantienen en interiores cuando el clima es extremo o se les provee de refugios improvisados ante temperaturas hostiles.



Figura 4. Búfalo de agua en época invernal en Rumania. El frío no tiene realmente una influencia en la incidencia de enfermedades respiratorias, pero definitivamente influye en la reproducción ya que ellos son más estacionales, como se ha observado en fincas de Rumania. La gran mayoría de los búfalos criados en Rumania se encuentran en granjas familiares rurales, con pocos animales, cría extensiva y poca tecnología.

Los búfalos de agua que habitan regiones europeas son sensibles al frío, pero están habituados, ya que les crece una gruesa capa de pelo suave en el invierno que sueltan por completo en primavera/verano (Figura 5).



Figura 5. Crecimiento de pelo en el búfalo de agua durante el invierno alemán. En las fotografías se observan búfalos de agua en la región de Vulkaneifel, Alemania. Es interesante apreciar el crecimiento del pelo y vello más fino frente a temperaturas bajo cero, lo que les permite mantener su temperatura corporal ante ambientes hostiles. En este rancho en particular los búfalos se mantienen en sistemas extensivos durante todo el año, a pesar del clima frío, se les provee de un refugio de madera simple y una nutrición optimizada. El frío y los cuidados inadecuados pueden provocar algunas afecciones del aparato respiratorio como bronconeumonía, pero su incidencia es baja (Fotografías, cortesía Ralf Paulsberg, Alemania).

La raza rumana de búfalos de agua, reconocida como tal desde 1987, se introdujo en esta parte del mundo en algún momento del siglo V a. C. y se ha adaptado al clima local. Es una raza relativamente pequeña pero resistente, con un peso entre 400-450 kg, con una piel gruesa de 6-6.8 mm, pelo negro largo, con fin zootécnico para la leche, la carne y como animal de trabajo (Figura 5). Existen diferentes biotipos muy similares habituados a las variaciones climáticas locales (Onaciu, 2013).

La reproducción tiende a ser estacional, influenciada por el fotoperíodo, con instalación de la gestación en verano y otoño. En el norte, debido a las condiciones más frías, la edad al primer parto es aproximadamente de 38,16 meses, en comparación con el biotipo en el sur donde ocurre alrededor de los 31,33 meses (Vidu y Bota, 2013).

En contraposición en Latinoamérica, cuando la producción de calor corporal es mayor que su disipación, los búfalos sufren estrés calórico (Khongdee et al., 2011; Gu et al., 2016; Mota-Rojas et al., 2020a) que se manifiesta con incremento de la frecuencia respiratoria (Richards, 1984; Sevegnani et al., 2016). Sin embargo, al proveer al búfalo de fuentes donde pueda expresar su comportamiento termorregulador, sombras naturales (**Figura 6**) o bien mediante el uso de rociadores (4-5 veces al día), ventiladores y nebulizadores, que ejercen efectos directos sobre el estado fisiológico, se puede apreciar una disminución

en frecuencia cardíaca, respiratoria y temperatura rectal, así como una mejor conversión alimenticia (Das et al., 2011).



Figura 6. La importancia de la sombra natural bajo los árboles en el trópico húmedo

De igual forma, pruebas experimentales indican que, para mantener la homeotermia adecuada, el búfalo de agua debe contar con charcas o duchas en los meses de verano y estar protegido contra las corrientes de aire frío durante los meses de invierno (Marai y Habeeb, 2010). En la **Figura 7** se muestran los promedios y valores máximos y mínimos de temperatura (°C) del búfalo de agua antes, durante y después de

sumergirse en una charca o enlodarse. Estos datos se registraron por medio de termografía infrarroja (IRT) en la hora del día más calurosa del trópico húmedo mexicano, con una temperatura ambiente promedio de 38°C en el verano.

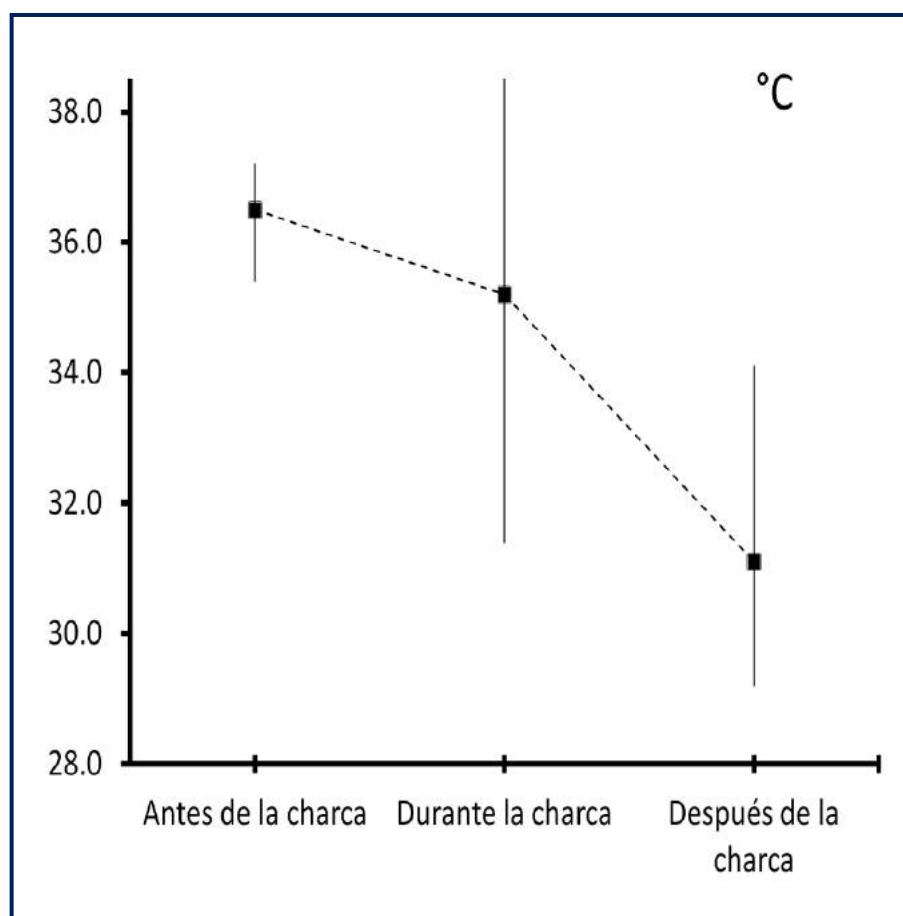


Figura 7. Cambios térmicos (°C) captados por termografía infrarroja en el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*), antes, durante y después de sumergirse en una charca. Datos obtenidos en el trópico húmedo con un promedio de 38°C de temperatura ambiente en el verano (Mota-Rojas et al., 2020a).

La temperatura superficial del búfalo antes de entrar a la charca superó los 36°C, siendo ese el momento más crítico en contraste con

los otros dos momentos. Así mismo, es posible evidenciar el descenso de un grado centígrado, en promedio, al ingresar a la charca y, posteriormente la disminución de alrededor de 4°C al salir de ella, demostrando la contribución de la charca para disipar el calor. Sin embargo, es necesario considerar que la velocidad del viento también pudo influir en la obtención de este resultado, debido a que el viento aumenta la evaporación y convección.

Cuando se obtiene la imagen por termografía, otro factor a considerar es la presencia de artefactos (suciedad) que pueden influir en la temperatura de la superficie, especialmente al buscar la temperatura mínima en la zona superficial estudiada y no olvidar la calibración con respecto al grado de emisividad. Además, la humedad del aire en climas cálidos es otro factor que influye en la disipación de calor, debido a que reduce los niveles de enfriamiento por evaporación y la eficiencia de los mecanismos de enfriamiento (Mota-Rojas et al., 2020a).

Para evaluar el efecto de las charcas y el lodo en la respuesta térmica del búfalo de agua, revisar los termogramas de la **figura 8**.

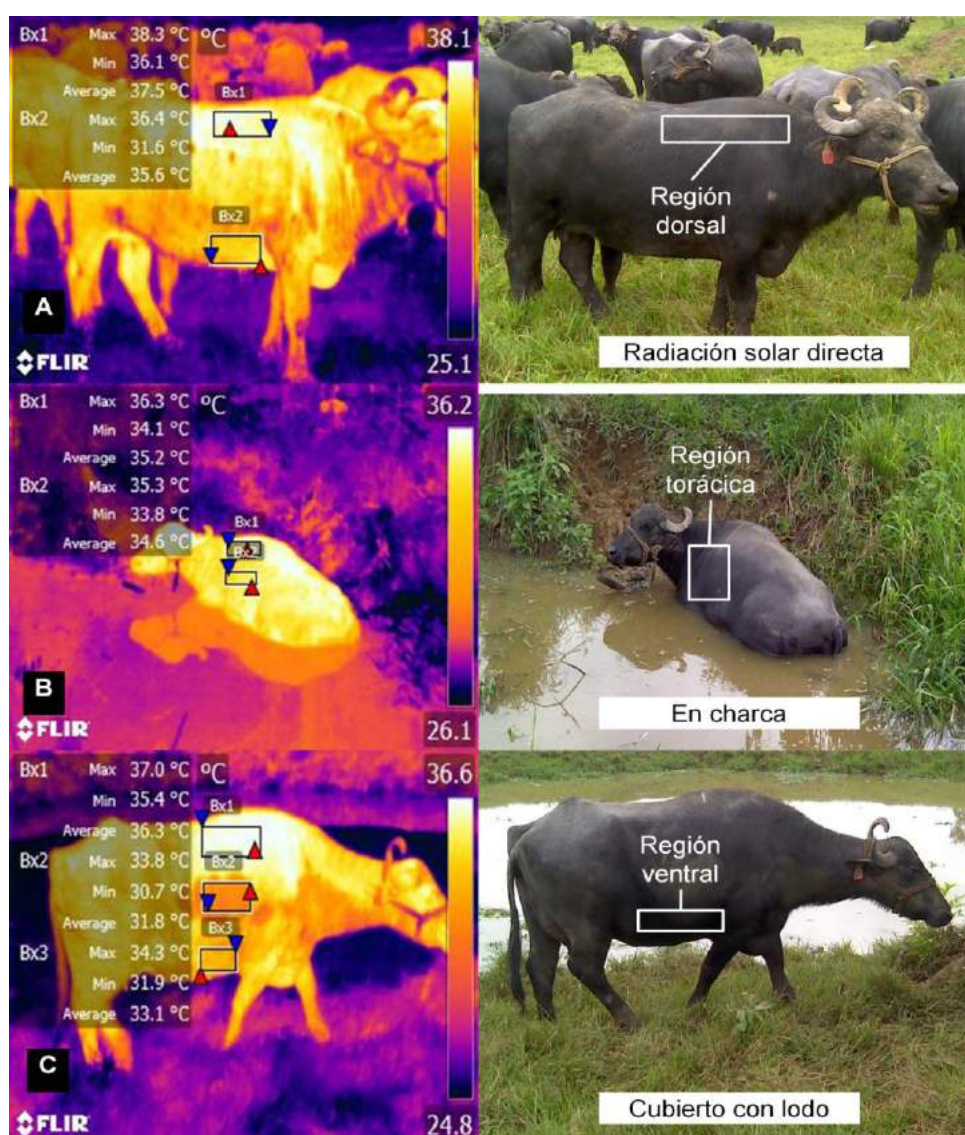


Figura 8. Uso de la termografía infrarroja para detectar el efecto de la evaporación cutánea. (Emisividad 0.95). El ingreso a charcas o zonas pantanosas como la presencia de lodo seco ayuda a que el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) registre un descenso de entre 2 y 4°C, como se aprecia en los siguientes termogramas. **A)** Búfalo de agua expuesto a la radiación solar directa en una región tropical. Se observa que la región dorsal, que es la que recibe mayor radiación, presenta una temperatura máxima de 38.3°C, mientras que la región ventral presenta una temperatura máxima 1.9°C menor a la registrada en el dorso. **B)** Búfalo en charca. A pesar de no encontrarse cubierto con lodo se aprecia un descenso de 2°C en la temperatura máxima de la región dorsal, con respecto a la temperatura registrada en el termograma **A**; lo que podría estar reflejando la disipación de calor por efecto de la evaporación del agua que recubre la piel del búfalo. **C)** Búfalo con restos de lodo o barro. La región torácica que es la que se encuentra cubierta con lodo presenta una temperatura máxima de 33.8°C, menor a cualquiera de las temperaturas registradas en las regiones evaluadas de los termogramas anteriores; demostrando así la protección que brinda el lodo frente a la radiación solar. Por lo tanto, la IRT es una herramienta que permite cuantificar la pérdida de calor que presentan los búfalos por efecto de la inmersión en charcas y pantanos (Mota-Rojas et al., 2018; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; Mota-Rojas et al., 2020a,b).

NEUROMODULACIÓN HIPOTALÁMICA DE LA TERMORREGULACIÓN

Los mamíferos pueden regular su temperatura a través de respuestas autónomas y respuestas conductuales. Por un lado, las respuestas de tipo autónomo, de origen involuntario, involucran procesos fisiológicos como la vasodilatación, sudoración, vasoconstricción y temblores; mientras que las respuestas conductuales hacen referencia a aquellas acciones “voluntarias” que se realizan en consecuencia del malestar térmico (Sessler, 2016).

La evidencia científica señala que tanto mecanismos fisiológicos como conductuales comparten rutas neurofisiológicas similares (señales térmicas llegan a la médula espinal para después dirigirse a la región preóptica (POA) del hipotálamo, donde son distribuidas en diferentes circuitos neuronales para generar una respuesta) que hacen posible el desarrollo de éstos. Sin embargo, aún hace falta estudiar en detalle algunos aspectos del mecanismo neurofisiológico, especialmente las vías eferentes involucradas en estas respuestas, pues aún no se conocen con exactitud las vías que permiten que ciertas estructuras de la corteza cerebral transmitan señales a regiones específicas del tronco encefálico.

De hecho, todavía hay dudas sobre la participación del POA en el desarrollo de las respuestas conductuales y sobre la estructura anatómica que regula la termorregulación conductual. Por lo anterior,

se espera que futuras investigaciones se enfoquen en manipular un tipo de célula específica para que de esta manera se logre identificar cuáles son las que participan en el desarrollo de respuestas autonómicas, diferenciando aquellas que lo hacen frente al frío y al calor, y desde luego las conductuales.

De igual forma, se busca entender las conexiones del sistema nervioso que organizan los comportamientos termorreguladores no sólo en organismos homeotermos sino también en ectotermos, y esclarecer modelos o diseños del sistema nervioso que nos permitan explicar los cambios observados, teniendo en cuenta que se convierte en un desafío ya que tratamos de entender mecanismos complejos.

La piel presenta una compleja inervación simpática con estructuras nerviosas como vasodilatadores, vasoconstrictores, sudomotores, pilomotores y fibras sensoriales o termorreceptores (Smith y Johnson, 2016), que la convierten en un órgano trascendental para la regulación de la hipertermia. Gracias a estas estructuras, la piel tiene la capacidad de detectar cambios en la temperatura ambiente y transmitir los estímulos percibidos de forma directa hasta el POA, permitiendo una respuesta eficaz para defender la homeostasis térmica del organismo (Morrison, 2011).

Además, las estructuras nerviosas que constituyen la piel reciben los estímulos nerviosos enviados desde el centro de pérdida de calor y activan mecanismos como la sudoración y vasodilatación (Kanosue et al., 2010). Cabe mencionar que la activación de todos estos mecanismos está controlada por la liberación de diversas sustancias químicas que funcionan como mensajeros dentro de una red de comunicación que es el sistema nervioso (Smith y Johnson, 2016).

En los mamíferos las respuestas de tipo autónomo frente a estímulos de calor y frío se regulan a través de fibras simpáticas colinérgicas, en el caso de la sudoración, y por fibras simpáticas adrenérgicas, en el caso de la piloerección, la vasoconstricción y la vasodilatación (Ruiz et al., 2012).

Si la temperatura ambiental incrementa, el búfalo aumentará la pérdida de calor por evaporación a través de la piel o su metabolismo (Bertoni et al., 2019a,b,c). Los mecanismos fisiológicos para enfrentar altas temperaturas ambientales incluyen una mayor vasodilatación con un mayor flujo de sangre a la superficie de la piel (Casas-Alvarado et al., 2019; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; 2020a,b), mayor sudoración y una frecuencia respiratoria más rápida. En el búfalo, una disminución de la ingesta de nutrientes y de materia seca, ocasionarían una tasa metabólica reducida, desbalance en el transporte y redistribución del agua y electrolitos, afectando el ritmo de crecimiento, consumo voluntario y la reproducción (Berdugo-Gutiérrez et al., 2017; Marai y Habeeb, 2010; Mota-Rojas et al., 2019b,c). A manera esquemática, en la **figura 9** se muestra la respuesta neurobiológica del búfalo de agua expuesto a estrés calórico.

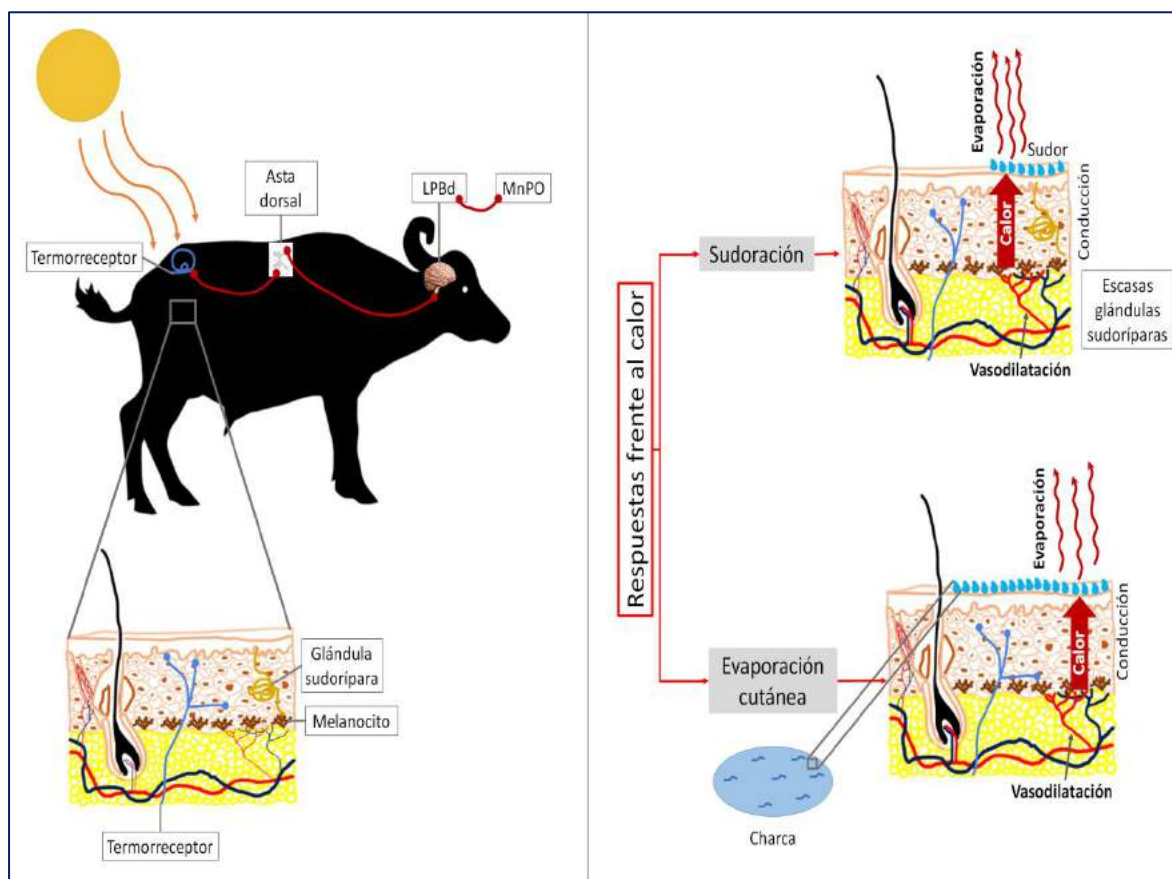


Figura 9. Neuromodulación de la termorregulación en el búfalo de agua. Debido a su piel rica en melanina y sus escasos folículos pilosos, los búfalos absorben una gran cantidad de radiación solar. Su piel posee termorreceptores que detectan el incremento de la temperatura ambiental por efecto de la radiación y envían esa información, a través de una fibra nerviosa aferente, al asta dorsal de la médula espinal; en ella se activan las neuronas sensoriales sensibles al calor, las cuales transmiten un impulso nervioso hacia la subregión dorsal del núcleo parabraquial lateral (LPBd), la cual envía a su vez una proyección glutamatérgica hacia el núcleo preóptico mediano (MnPO) del área preóptica del hipotálamo (POA), estructura responsable de la termorregulación en los mamíferos. Una vez recibida la información en el POA, se inician respuestas termorreguladoras como la sudoración y la evaporación cutánea. Las glándulas sudoríparas periféricas secretan líquido (sudor) que por medio de la conducción adquiere el calor proveniente de los vasos sanguíneos cutáneos, y que eventualmente se evapora de tal forma que disminuye la temperatura superficial del búfalo, similar a como sucede al evaporarse el líquido del tracto respiratorio durante el jadeo. No obstante, es importante señalar que esta estrategia termorreguladora no es tan eficiente en los búfalos, debido a que presentan un escaso número de glándulas sudoríparas, por lo que optan por sumergirse en zonas inundables y pantanosas para poder facilitar la pérdida de calor a través de la evaporación cutánea. En este caso el agua proveniente de la charca que recubre la superficie cutánea del búfalo es el que transporta el calor de los vasos sanguíneos dilatados para que, a través de la evaporación, se logre disminuir su temperatura corporal.

ENFRIAMIENTO POR EVAPORACIÓN

El enfriamiento por evaporación se lleva a cabo principalmente a través de la sudoración, aunque en mamíferos no humanos existen otros mecanismos para generar un enfriamiento por evaporación, los cuales sufren modificaciones de acuerdo con la especie; ejemplos de estos mecanismos son la salivación y propagación de la saliva en toda la superficie cutánea o el pelo, así como la evaporación a través del jadeo que se genera desde el tracto respiratorio (Morrison, 2011).

En 1998 se realizó un estudio comparativo entre un estado normotérmico e hipertérmico para determinar la actividad simpática en estos estados y se encontró que dentro de un estado hipertérmico la actividad sudomotora aumenta en un 80%, denotando su predominancia en tales condiciones; es decir que el enfriamiento por evaporación representa el principal mecanismo para disipar el calor (Sugenoya et al., 1998).

La sudoración se considera un termo-efector importante en humanos. Este proceso se efectúa a través de las glándulas ecrinas, las cuales están conformadas por una estructura constituida por una glándula tubular en forma de espiral que tiene su conducto secretor y un conducto proximal situado en la dermis, donde se encuentran múltiples fibras nerviosas, así como una alta red de capilares a su alrededor (Kennedy et al., 1994). Estas estructuras en conjunto con

otros tipos de células, actúan contra la presión hidrostática generando sudor (Gagnon y Crandall, 2018).

En los roedores la sudoración está mediada por la liberación de acetilcolina, un mediador químico presente en las áreas sinápticas de los nervios simpáticos que están ubicados en las glándulas sudoríparas periféricas (Tan y Knight, 2018). En particular, la inervación simpática es estimulada por un paquete nervioso que desemboca en las neuronas preganglionares que residen en las células IML de la médula espinal (por sus siglas en inglés: Intermediolateral cells of the spinal cord); la columna de células IML tiene proyecciones hacia la médula ventromedial rostral (RVMM), la cual se correlaciona con la sudoración en gatos y humanos (Shafton y McAllen, 2013). En la actualidad no se conocen completamente las vías de estimulación entre la RVMM y el área preóptica (POA) por lo que se sigue investigando (Tan y Knight, 2018).

Con respecto a los mecanismos de evaporación a través de la salivación y el jadeo, existe un amplio campo de investigación, ya que se desconocen las vías por las que se estimulan estos mecanismos, aunque se presume están mediados de forma autónoma en la secreción de saliva y de líquido en el tracto respiratorio (Morrison, 2011).

Es importante mencionar que la evaporación es un mecanismo que demanda un elevado gasto calórico en el organismo y trae consigo alteraciones fisiológicas importantes como la pérdida excesiva de agua, lo que altera la estabilidad osmótica, por lo que se requiere de disponibilidad de alimentos para cubrir el gasto calórico y agua para estabilizar el equilibrio osmótico. Sin embargo, en algunas especies de aves silvestres que habitan regiones áridas y con épocas en las que se observa una disminución drástica de recursos, paradójicamente existen adaptaciones que permiten un aumento considerable de la temperatura en los animales hasta un estado de hipertermia, reduciendo así hasta un 50% la pérdida de agua y gasto energético. Este proceso de adaptación puede ser beneficioso tomando en cuenta el reciente aumento de la temperatura ambiental en el mundo (Nilsson et al., 2016).

También se ha mencionado que otra alteración provocada por estados de hipertermia aguda es la hipoxia, principalmente en órganos con elevada irrigación como la mucosa intestinal, lo que conduce a un daño en el tejido produciendo aumento de la permeabilidad (Kpodo et al., 2020); por tal motivo, en la producción intensiva de ganado se han diseñado métodos para reducir el impacto del estrés calórico en los animales (Baumgard y Rhoads, 2013).

Los mecanismos de vasodilatación y evaporación se describen en la literatura individualmente, y se cree que son mediados por circuitos nerviosos distintos. Sin embargo, estos mecanismos están relacionados, ya que la vasodilatación permite proporcionar plasma sanguíneo, que es el recurso utilizado como fluido para llevar a cabo la evaporación a través del sudor, la saliva y el jadeo (Nagashima, 2006).

Por otra parte, al activarse las glándulas sudoríparas y salivales, se libera una enzima que cataliza la bradiquinina, péptido con capacidad alta para estimular la vasodilatación, y que al ser liberado en el espacio intersticial provoca una vasodilatación activa. No obstante, diferentes estudios señalan que la bradiquinina no es un mediador para la activación de la vasodilatación cutánea (Fox y Hilton, 1958; Kellogg et al., 2002). La controversia existe, ya que se sugiere que estos dos mecanismos comparten estructuras neurales simpáticas similares, pues en un estado hipertérmico ocurren en tiempos análogos, lo que comprobó Brengelmann et al. (1981) al no encontrar respuesta de vasodilatación en un modelo de estudio con ausencia congénita de glándulas sudoríparas.

ÁREAS DE OPORTUNIDAD Y APLICACIONES PRÁCTICAS

El conocimiento del estudio de la neuromodulación hipotalámica de la termorregulación tiene grandes áreas de oportunidad con aplicación práctica, estudios que pueden estar apoyados con herramientas de gran utilidad como la termografía infrarroja (IRT). Algunas áreas de oportunidad y de aplicación podrían ser las siguientes: comprender el efecto del cambio climático en el comportamiento, la productividad, el crecimiento, el apareamiento, la búsqueda de pareja en diferentes especies, el efecto del ejercicio en animales con fines de trabajo o deportivos, los cambios microvasculares que se dan ante el miedo, el placer o el dolor y otras situaciones estresantes para los animales; así como seguir aportando en el estudio de los comportamientos de termorregulación. Este tipo de trabajos podrían ser de utilidad para el desarrollo de posibles soluciones a problemas actuales asociados con modificaciones drásticas en el ambiente que tienen como consecuencia: pérdida de apetito, baja productividad, hipotermia neonatal, choque térmico, compromiso del sistema inmune y posible susceptibilidad a infecciones, entre otros. Por otra parte, el estudio de la piel relacionado con la modulación de la temperatura, avanza con el uso de la IRT. Sin embargo, hay muchas características que deben tomarse en cuenta para asegurar que la temperatura superficial de la piel juega un papel importante en la transmisión de estímulos térmicos y que actúa relacionada con la temperatura central del cuerpo.

CONSIDERACIONES FINALES

Los mamíferos emplean diversos mecanismos para mantener la homeostasis en los diferentes sistemas corporales, algunos involucran el uso de recursos valiosos para el organismo como glucosa o agua. Esto aumenta la posibilidad de supervivencia de la especie. La regulación de la temperatura en mamíferos es sumamente organizada ante los diferentes estímulos que pueden generar su cambio, desde ambientales, etapa reproductiva, estado nutricional y dietético, incluso procesos inflamatorios por los que curse.

Las vías neurofisiológicas observadas en las distintas especies nos describen un sistema complejo, e íntimamente relacionado con otros sistemas que mantienen una estabilidad térmica a través de diferentes vías y receptores distribuidos en puntos estratégicos del cuerpo. La piel es un órgano de importancia crucial para afrontar estímulos térmicos, ya que forma parte de la primera línea de detección de cambios térmicos y microcirculación, además de que participa en los procesos vasomotores, como un factor mediador para el cambio de flujo en la sangre, permitiendo la disipación o retención del calor a través de la vasodilatación y vasoconstricción, respectivamente. Pero para poder lograr el desarrollo de estas respuestas termorreguladoras es indispensable la participación e integridad de regiones anatómicas como el POA, la corteza cerebral, los nervios aferentes y la médula

espinal, que no sólo regulan las respuestas fisiológicas, sino también las conductuales.

El conocimiento actual sobre procesos fisiológicos y estructuras anatómicas tan complejas como el sistema nervioso, y su estrecha relación con mecanismos de termorregulación, es aún limitado, ya que el estudio de la neurociencia evolutiva de la termorregulación demuestra que no podemos explicar con objetividad procesos, que parecen sencillos, como los cambios en el comportamiento o las rutas y conexiones que desencadenan mecanismos como la vasodilatación, el jadeo, entre otros. Así mismo, se necesita esclarecer la conexión entre las emociones y la termorregulación que permiten aumentar la supervivencia de algunos organismos. El conocimiento, cada vez más acertado, sobre la termorregulación nos permite diseñar métodos prácticos para aplicarlos en áreas como la zootecnia o la clínica sin comprometer un buen nivel de bienestar animal, obteniendo como resultado un incremento en la productividad, mejorar la calidad de vida y la posibilidad de supervivencia de los animales.

REFERENCIAS

- Ablas, D.D.S., Titto, E.A.L., Pereira, A.M.F., Titto, C.G., Leme, T.M.D.C., 2007. Comportamento de bubalinos a pasto. *Ciência Anim. Bras.* 8, 167–175.
- Aggarwal, A., Upadhyay, R.C., 2013. Stress, heat productivity, animal, en: *Stress, heat productivity, animal*. Springer, India, pp. 1–25.

<https://doi.org/10.1007/978-81-322-0879-2>

- Baumgard, L.H., Rhoads, R.P., 2013. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 1, 311–337. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103644>
- Berdugo-Gutiérrez, J., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., N.J., González, C., Ruíz-Buitrago, J., Guerrero-Legarreta, I., 2017. El búfalo de agua y el estrés calórico. BM Editores. Special Section: Let's Learn Animal Welfare together. BM Ed. Press. Mex. City. Mex. URL <https://bmeditores.mx/secciones-especiales/el-bufalo-de-agua-y-el-estres-calorico-1877>.
- Bertoni, A., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macias, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I., Morales-Canela, A., Gómez-Prado, J., José-Pérez, N., Martínez-Burnes, J., 2019a. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 8, 288–297. <https://doi.org/10.31893/jabb.20038>
- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J., Guerrero-Legarreta, I., 2019b. Similarities and Differences between River Buffaloes and Cattle: Health, Physiological, Behavioral and Productivity Aspects. *J. Buffalo Sci.* 9, 92–109. <https://doi.org/10.6000/1927-520x.2019.08.03.12>
- Bertoni, A., Álvarez-Macias, A., Mota-Rojas, D., 2019c. Productive performance of buffaloes and their development options in

- tropical regions. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 19, 59–80.
- Brengelmann, G.L., Freund, P.R., Rowell, L.B., Olerud, J.E., Kraning, K.K., 1981. Absence of active cutaneous vasodilation associated with congenital absence of sweat glands in humans. *Am. J. Physiol. Circ. Physiol.* 240, H571–H575. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1981.240.4.H571>
- Casas-Alvarado, A., Mota-Rojas, D., Hernández-Ávalos, I., Mora-Medina, P., Olmos-Hernández, A., Verduzco-Mendoza, A., Reyes-Sotelo, B., Martínez-Burnes, J., 2019. Advances in infrared thermography: Surgical aspects, vascular changes, and pain monitoring in veterinary medicine. *J. Therm. Biol.* 92, 102664. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102664>
- Castro, A.C., Lourenço Júnior, J. de B., Santos, N. de F.A. dos, Monteiro, E.M.M., Aviz, M.A.B. de, Garcia, A.R., 2008. Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. *Ciência Rural* 38, 2395–2402. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000800050>
- Das, G., Khan, F., 2010. Summer Anoestrus in Buffalo - A Review. *Reprod. Domest. Anim.* 45, e483–e494. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2010.01598.x>
- Das, K.S., Singh, G., Paul, S.S., Malik, R., Oberoi, P.S., Deb, S.M., 2011. Physiological responses and performance of Nili-Ravi buffalo calves under different washing frequency during hot summer months in tropics. *Trop. Anim. Health Prod.* 43, 35–39. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9651-x>

- Das, S., Upadhyay, R., Madan, M., 1999. Heat stress in Murrah buffalo calves. *Livest. Prod. Sci.* 61, 71–78. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00040-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00040-8)
- De Rosa, G., Napolitano, F., Grasso, F., Pacelli, C., Bordi, A., 2005. On the development of a monitoring scheme of buffalo welfare at farm level. *Ital. J. Anim. Sci.* 4, 115–125. <https://doi.org/10.4081/ijas.2005.115>
- Desta, T.T., 2012. Introduction of domestic buffalo (*Bubalus bubalis*) into Ethiopia would be feasible. *Renew. Agric. Food Syst.* 27, 305–313. <https://doi.org/10.1017/S1742170511000366>
- Dimri, U., Ranjan, R., Sharma, M.C., Varshney, V.P., 2010. Effect of vitamin E and selenium supplementation on oxidative stress indices and cortisol level in blood in water buffaloes during pregnancy and early postpartum period. *Trop. Anim. Health Prod.* 42, 405–410. <https://doi.org/10.1007/s11250-009-9434-4>
- Fox, R.H., Hilton, S.M., 1958. Bradykinin formation in human skin as a factor in heat vasodilatation. *J. Physiol.* 142, 219–232. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1958.sp006011>
- Gagnon, D., Crandall, C.G., 2018. Sweating as a heat loss thermoeffector, en: *Handbook of Clinical Neurology*. pp. 211–232. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63912-7.00013-8>
- Gu, Z., Yang, S., Leng, J., Xu, S., Tang, S., Liu, C., Gao, Y., Mao, H., 2016. Impacts of shade on physiological and behavioural pattern of Dehong buffalo calves under high temperature. *Appl. Anim.*

Behav. Sci. 177, 1–5.

<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.01.024>

Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A.

2019a. El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales. Segunda edición. México, Editorial BM Editores. Enero, 2019. Ciudad de México. p.p. 1-881.

<https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Cruz, R., Mora

Medina, P., Berdugo, J., 2019b. El Búfalo de Agua: versátil, rústico y sostenible como productor de carne. Agro Meat. Argentina.

Kanosue, K., Crawshaw, L.I., Nagashima, K., Yoda, T., 2010. Concepts to utilize in describing thermoregulation and neurophysiological evidence for how the system works. Eur. J. Appl. Physiol. 109, 5–11. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1256-6>

Kellogg, D.L., Liu, Y., McAllister, K., Friel, C., Pérgola, P.E., 2002. Bradykinin does not mediate cutaneous active vasodilation during heat stress in humans. J. Appl. Physiol. 93, 1215–1221. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01142.2001>

Kennedy, W., Wendelschafer-Crabb, G., Brelje, T., 1994. Innervation and vasculature of human sweat glands: an immunohistochemistry-laser scanning confocal fluorescence microscopy study. J. Neurosci. 14, 6825–6833. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.14-11-06825.1994>

- Khongdee, T., Sripoon, S., Vajrabukka, C., 2013. The effects of high temperature and roof modification on physiological responses of swamp buffalo (*Bubalus bubalis*) in the tropics. *Int. J. Biometeorol.* 57, 349–354. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0557-3>
- Khongdee, T., Sripoon, S., Vajrabukka, C., 2011. The effects of high temperature and wallow on physiological responses of swamp buffaloes (*Bubalus bubalis*) during winter season in Thailand. *J. Therm. Biol.* 36, 417–421. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2011.07.006>
- Klein, B.G., 2014. Cunningham. *Fisiología Veterinaria*, Cunningham. *Fisiología Veterinaria*. <https://doi.org/10.1016/B978-84-9022-317-8/00056-7>
- Kpodo, K.R., Duttlinger, A.W., Radcliffe, J.S., Johnson, J.S., 2020. Time course determination of the effects of rapid and gradual cooling after acute hyperthermia on body temperature and intestinal integrity in pigs. *J. Therm. Biol.* 87, 102481. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102481>
- Lendez, P. A., Nieto Farias, M. V., Martínez Cuesta, L., Vater, A. A., Ghezzi, M. D., Mota-Rojas, D., Dolcini, G.L. & Ceriani, M.C., 2020. Heat stress: its effect on the immune status of dairy cows. *Rev. Med. Vet. (En línea)* 101 (3), 7-13. Disponible en: [http://www.someve.com.ar/images/revista/2020/Vol101\(3\)/Pag-7-13-Lendez.pdf](http://www.someve.com.ar/images/revista/2020/Vol101(3)/Pag-7-13-Lendez.pdf)

- Lendez, P. A., Martinez Cuesta L., Nieto Farias M.V., Vater A.A., Ghezzi M.D., Mota-Rojas D., Dolcini G. L., Ceriani M.C., 2021. Alterations in TNF- α and its receptors expressions in the cows undergoing heat stress. *Vet. Immunol. Immunopathol.* <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2021.110232>
- Marai, I.F.M., Habeeb Alsaied A.M., 2010. Buffalo's biological functions as affected by heat stress — A review. *Livest. Sci.* 127, 89–109. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.08.001>
- Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J.A., Mota-Rojas, D., Ruiz-Buitrago, J.D., Nava-Adame, J., Guerrero-Legarreta, I., 2018a. Behaviour and Welfare of Dairy Buffaloes: Pasture or Confinement? *J. Buffalo Sci.* 7, 43–48. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2018.07.03.2>
- Mora-Medina, P., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Berdugo-Gutiérrez, J., Ruiz-Buitrago, J., Guerrero-Legarreta, I., 2018b. Imprinting, Sucking and Allosucking Behaviors in Buffalo Calves. *J. Buffalo Sci.* 7, 49–57. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2018.07.03.3>
- Morrison, S.F., 2011. 2010 Carl Ludwig Distinguished Lectureship of the APS Neural Control and Autonomic Regulation Section: Central neural pathways for thermoregulatory cold defense. *J. Appl. Physiol.* 110, 1137–1149. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01227.2010>
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., 2019a. Dairy buffalo behaviour

and welfare from calving to milking. (UK).

<https://doi.org/10.1079/PAVSNR201914035>

Mota-Rojas, D. Napolitano, F., Sarubbi, J., Braghieri, A., Martínez-Burnes, J., Bertoni, A., Ghezzi, D. et al. 2019b. Capítulo 16. Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja” en Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 512-538), Segunda edición. México, BM Editores. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Mota-Rojas, D., Ghezzi, M.D.; Sarubbi, J., Napolitano, F., José-Pérez, N., Braghieri, A., Martínez, G.M.; Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I., Barrios, H., Martínez-Burnes, J. 2019c. Capítulo 17. Importancia de la sombra natural o artificial y su efecto en los indicadores fisiológicos y de comportamiento en el búfalo de agua, bovino europeo y bovino índico. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 539-581), Segunda edición. México, BM Editores. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A., Martínez-Burnes, J., Álvarez-Macías, A., Orihuela, A., 2020a. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics:

- neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 9,2103. <https://doi.org/10.31893/jabb.21003>
- Mota-Rojas, D., Olmos-Hernández, A., Verduzco-Mendoza, A., Lecona-Butrón, H., Martínez-Burnes, J., Mora-Medina, P., Gómez-Prado, P.J., Orihuela, A., 2020b. Infrared thermal imaging associated with pain in laboratory animals. *Experimental Animals* 70, 1-12. doi: 10.1538/expanim.20-0052
- Nagashima, K., 2006. Central Mechanisms for Thermoregulation in a Hot Environment. *Ind. Health* 44, 359–367. <https://doi.org/10.2486/indhealth.44.359>
- Napolitano, F., Pacelli, C., Grasso, F., Braghieri, A., De Rosa, G., 2013. The behaviour and welfare of buffaloes (*Bubalus bubalis*) in modern dairy enterprises. *Animal* 7, 1704–1713. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001109>
- Nilsson, J.-Å., Molokwu, M.N., Olsson, O., 2016. Body Temperature Regulation in Hot Environments. *PLoS One* 11, e0161481. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161481>
- Oliveira, J.P.F., Rangel, A.H.N., Barreto, M.L.J., Araújo, V.M., Lima Júnior, D.M., Novaes, L.P., Aureliano, I.P.L., 2013. Temperamento de búfalas em sala de ordenha sobre índices produtivos e adaptabilidade ao ambiente: uma revisão. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 1, 21–30. <https://doi.org/10.14269/2318-1265.v01n01a05>

- Onaciu, G., 2013. Creșterea bovinelor (Bovine breeding), vol 1, Casa Cărții de Știință Cluj, Romania, 2013, p.130;
- Richards, J.I., 1984. The estimation of energy expenditure from heart rate measurements in working oxen and buffalo. *J. Agric. Sci.* 102, 711–717. <https://doi.org/10.1017/S0021859600042271>
- Ruiz, L.G., Castro, R.V., Cordoba, I.A., 2012. El sistema nervioso autónomo: un enfoque integral y dialéctico para el estudiante universitario universitario (No. V160 CASS), Universidad Autónoma Metropolitana.
- Sessler, D.I., 2016. Perioperative thermoregulation and heat balance. *Lancet* 387, 2655–2664. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)00981-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00981-2)
- Sevegnani, K.B., Fernandes, D.P.B., Silva, S.H.M.-G. da., 2016. Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. *Eng. Agrícola* 36, 1–12. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p1-12/2016>
- Shafton, A.D., McAllen, R.M., 2013. Location of cat brain stem neurons that drive sweating. *Am. J. Physiol. Integr. Comp. Physiol.* 304, R804–R809. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00040.2013>
- Smith, C.J., Johnson, J.M., 2016. Responses to hyperthermia. Optimizing heat dissipation by convection and evaporation: Neural control of skin blood flow and sweating in humans. *Auton. Neurosci.* 196, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.01.002>

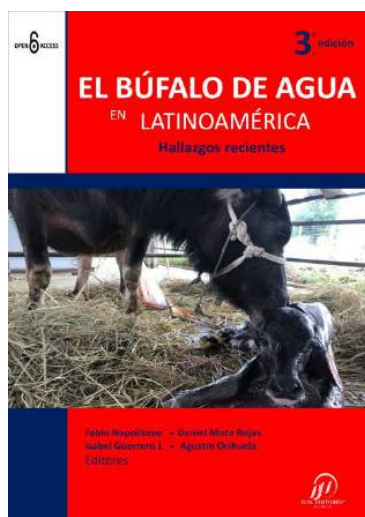
- Sugenoya, J., Iwase, S., Mano, T., Sugiyama, Y., Ogawa, T., Nishiyama, T., Nishimura, N., Kimura, T., 1998. Vasodilator component in sympathetic nerve activity destined for the skin of the dorsal foot of mildly heated humans. *J. Physiol.* 507, 603–610. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1998.603bt.x>
- Tan, C.L., Knight, Z.A., 2018. Regulation of Body Temperature by the Nervous System. *Neuron* 98, 31–48. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.02.022>
- Vidu, L., Bota, A., 2013. The herd size and production performances of buffalo in Romania. *Buffalo Bulletin.* 32, 1245-1248.
- Zhengkang, H., Zhenzhong, C., Shaohua, Z., Vale, W.G., Barnabe, V.H., Mattos, J.C.A., 1994. Rumen metabolism, blood cortisol and T3, T4 levels and other physiological parameters of swamp buffalo subjected to solar radiation, en: *Proceedings of the IVth World Buffalo Congress*. San Paulo, Brazil, pp. 39–40.
- Zicarelli, L., 2016. Estacionalidad Reproductiva en Búfalas, en: Crudeli, G. et al (Ed.), *Reproducción en Búfalas*. Ediciones. Moglia, Argentina.



CAPÍTULO 23

BIENESTAR DEL BÚFALO DE AGUA, BOVINO EUROPEO Y BOVINO ÍNDICO: ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES, FISIOLÓGICOS Y CONDUCTUALES EN RESPUESTA A LA SOMBRA NATURAL Y ARTIFICIAL

Daniel Mota-Rojas, Alsaied Alnaimy Habeeb, Fabio Napolitano, Juliana Sarubbi, Marcelo Daniel Ghezzi, María Carolina Ceriani, Alex Cuibus, Julio Martínez-Burnes, Ada Braghieri, Pamela Anahí Lendez, Rosy Cruz-Monterrosa, Gabriela Marcela Martínez, Adolfo A. Rayas-Amor, Nancy José-Pérez, Patricia Mora-Medina, Hugo Barrios-García, P. Ravi Kanth Reddy



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 23

Bienestar del búfalo de agua, bovino europeo y bovino indico: aspectos medioambientales, fisiológicos y conductuales en respuesta a la sombra natural y artificial

Daniel Mota-Rojas¹, Alsaied Alnaimy Habeeb², Fabio Napolitano³, Juliana Sarubbi⁴, Marcelo Daniel Ghezzi⁵, María Carolina Ceriani⁶, Alex Cuibus⁷, Julio Martínez-Burnes⁸, Ada Braghieri³, Pamela Anahí Lende⁶, Rosy G. Cruz-Monterrosa⁹, Gabriela Marcela Martínez¹⁰, Adolfo A. Rayas-Amor⁹, Nancy José-Pérez¹, Patricia Mora-Medina¹¹, Hugo Barrios-García⁸, P. Ravi Kanth Reddy¹²

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México.

²Biological Applications Department, Radioisotopes Applications Division, Nuclear Research Center, Atomic Energy Authority, Inshas, Cairo, Egypt.

³Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

⁴Departamento de Zootecnia y Ciencias Biológicas de la Universidad Federal de Santa María (UFESM) y Coordinadora del Laboratorio Ambiente y Bienestar Animal (UFESM). Brasil.

⁵Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina.

⁶Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Tandil, Veterinary Research Center (CIVETAN), CONICET-CICPBA, Tandil, Argentina.

⁷Faculty of Animal Science and Biotechnologies. University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine of Cluj-Napoca, Romania.

⁸Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México.

⁹Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana-Campus Lerma. Lerma, México.

¹⁰Manejo de Sistemas Ganaderos, Universidad Nacional de Salta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en la Estación Experimental de Salta. Argentina.

¹¹Departamento de Ciencias Pecuarias, FESC. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

¹²Animal Husbandry Department, Veterinary Dispensary, Taticherla, Prakasam District. Andhra Pradesh, India.

INTRODUCCIÓN

Para los sistemas de producción de los *Bovidae*, búfalo de agua (*Bubalus bubalis*), Bovino Europeo (*Bos taurus*) y Bovino Índico (*Bos indicus*), uno de los grandes retos está relacionado con el desempeño

Bienestar del búfalo de agua, bovino europeo y bovino indico: aspectos medioambientales, fisiológicos y conductuales en respuesta a la sombra natural y artificial | BM EDITORES



de los animales que dependen no sólo de la heredabilidad sino del efecto de los factores medioambientales. Ha sido bien documentado que las altas temperaturas a causa del cambio climático causan estrés calórico, lo que tiene un efecto negativo en la producción causando grandes pérdidas económicas. Además, disminuye el crecimiento, incrementan los desequilibrios fisiometabólicos, repercutiendo negativamente en el bienestar de los animales (Guerrero-Legarreta et al., 2019; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; Mota-Rojas et al., 2020a,b). Por ello, se ha propuesto la implementación de sombras dentro de los potreros; sin embargo, investigaciones recientes han demostrado diferencias sobre la efectividad de la sombra, dependiendo del tipo y los materiales utilizados; ya que, si no son bien elegidos en algunos casos lejos de mitigar el estrés calórico pueden intensificarlo. Se estima que para el año 2050 a causa del aumento en la población mundial, la producción de carne deberá aumentar desde 60 millones a 130 millones de toneladas, dentro del cual el 70% estará bajo unidades productivas de las regiones subtropicales alrededor del mundo (Cooke et al., 2020). Sin embargo, uno de los grandes desafíos para los sistemas de producción es el desempeño de los animales destinados al abasto de alimentos que dependen de la heredabilidad dada por la selección genética y de los factores medioambientales (Barman et al., 2017).

En este sentido, las altas temperaturas a causa del cambio climático (Foust y Headlee, 2017), tienen un efecto negativo en la producción, causando grandes pérdidas económicas; tan sólo en Estados Unidos se estiman pérdidas de \$ 370 millones en la industria de carne de res y de \$897 a \$1500 millones en la industria láctea y cárnica (St-Pierre et al., 2003).

El impacto económico debido a la disminución en la productividad, asociado al estrés con el cual se cría a los animales fue y continúa siendo motivo de estudios relacionados con la evaluación de las condiciones y parámetros de bienestar y producción animal.

El término estrés ha sido utilizado con el fin de describir los cambios fisiológicos y de comportamiento de un organismo a causa de estímulos aversivos frecuentes y/o intensos (Manteca et al., 2013; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; Mota-Rojas et al., 2020a,b), que trata de contrarrestar el organismo para regresar a la homeostasis. Sin embargo, es posible que las demandas fisiológicas y comportamentales superen la capacidad del organismo para regular el gasto de energía y lo lleven a un sobreesfuerzo con repercusiones negativas en el bienestar y sobre todo, en su productividad en el caso de los animales destinados al abasto, (Le Fevre et al., 2003; Brown and Vosloo, 2017).

Varios son los factores del ambiente físico causantes del denominado estrés calórico que se han identificado como estresores hacia los animales, tales como la elevada temperatura del aire, humedad relativa alta, baja velocidad del viento y elevada radiación solar, los cuales contribuyen a generar el denominado estrés por calor (Armstrong, 1994; Nidumolu et al., 2010; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; Mota-Rojas et al., 2020a,b).

De esta forma, la modificación de las condiciones bioclimáticas en el ambiente en donde se desarrollan los animales como el aumento de temperatura, la alta humedad y velocidad reducida del viento repercuten en el comportamiento animal y en la disminución del crecimiento, ocasionada por la baja en la ingesta diaria de alimentos, lo cual además compromete el estado de salud del individuo (Chen et al., 2020).

Ante dichas condiciones, se ha optado por proporcionar sitios de sombra en los potreros para mitigar los efectos del estrés por calor. Las sombras pueden ser artificiales o naturales dependiendo del manejo y del sistema de la unidad productiva. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado diferencias sobre la efectividad de la sombra, dependiendo del tipo y los materiales utilizados (Kamal et al., 2015). Según Glauber y Ghezzi, (2015), las medidas adecuadas sobre los animales para controlar el estrés calórico

mejoran el confort impactando positivamente en su bienestar. Si bien hay productores y establecimientos que exceden en previsiones, para minimizar el factor ambiental natural que paulatinamente se va estableciendo en distintas regiones, otros aún no cuentan con alternativas de mitigación y solo se desesperan cuando se producen muertes de los animales por estrés calórico y sufren el perjuicio económico.

La mejor medida es prevenir y adoptar soluciones tendientes a minimizar el estrés por calor, entonces aparece la necesidad de planificar la colocación de sombra. Por ello, el objetivo de esta revisión es analizar y discutir el efecto entre dos tipos de sombra: natural y artificial como recurso para mitigar el estrés por calor y su efecto sobre los indicadores fisiológicos y de comportamiento del ganado del género *Bos Indicus*, *Bos Taurus* y *Bubalus bubalis*.

INVESTIGACIONES RECIENTES SOBRE EL USO DE LA SOMBRA EN EL BÚFALO DE AGUA

El búfalo de agua se adapta bien a los climas con altas temperaturas ambientales siempre y cuando puedan refrescarse en charcos de agua; sin embargo, cuando carecen de ellos, son altamente sensibles a los efectos de las temperaturas ambientales elevadas, debido a que anátomo-fisiológicamente los búfalos presentan una escasa densidad de glándulas sudoríparas en la piel (Marai y Haezeb, 2010a). Además estos animales son sensibles al estrés por calor cuando la radiación de

calor corporal absorbida es mayor que su disipación, comprometiendo tanto la producción, reproducción (Marai y Haezeb, 2010b) rendimiento y sobre todo el bienestar e inclusive, en casos extremos la vida de los búfalos de agua (Armstrong, 1994; Gu et al., 2016) y de otros bovinos (De Rensis y Scaramuzzi, 2003). Sin embargo, a pesar de que los búfalos de agua en regiones tropicales, presentan un sistema termorregulador ineficiente al calor extremo, al igual que los bovinos lecheros y ganado de engorde (*Bos taurus*), tienen ventajas como lo es la presencia escasa de pelo y mayor grosor de la capa superficial de la piel (epidermis), con altas concentraciones de melanina, lo cual le permite absorber el calor que le proporciona el característico color negro a los búfalos (Berdugo-Gutiérrez et al., 2019). Aunque, siendo animales de piel oscura, están predispuestos a que una gran proporción de radiación solar sea absorbida, por ello, los búfalos como otros *Bovidae*, requieren fosas de refrescamiento para protegerse de los efectos nocivos de la radiación solar directa (Zicarelli, 2016).

Una alternativa a la ausencia de pozos o charcas de refrescamiento en los búfalos ha sido incluir sombreaderos en los corrales (Arias et al., 2008). Gu et al. (2016), evaluaron el efecto de la sombra en el comportamiento y sobre el perfil fisiológico de los becerros de búfalo de la raza Dehong, utilizada en las regiones subtropicales de China. A cada becerro se le asignó 5 m² de sombra por animal en el sitio de descanso, a una altura de 2.5 m a partir del piso. Se pudo observar

que, en echaderos en espacios abiertos y sombreados, la temperatura se reduce 1.5°C en comparación con superficies sin sombra. Además, en condiciones superiores a los 30°C de temperatura ambiental, los becerros permanecen una proporción mayor de tiempo bajo los echaderos sombreados, ello les permitiría evitar el estrés calórico. Asimismo, mantienen una frecuencia respiratoria baja, lo cual los haría encontrarse en confort térmico, en comparación con becerros que se encuentren en espacios abiertos bajo una fuerte radiación solar directa (Arias et al., 2008; Gu et al., 2016).

Por otro lado, los animales presentan modificación en su comportamiento cuando no disponen de confort térmico, y en casos de baja tasa de disipación de calor, en los búfalos se incrementan los períodos de inactividad y dedican menos tiempo a explorar (Mora-Medina et al., 2018).

Estudios preliminares de los autores del presente capítulo (Bertoni et al., 2019), muestran la importancia de la sombra artificial en los cambios de la microcirculación del búfalo de agua en el trópico latinoamericano. Como se muestra en la **Figura 1**, hay un marcado contraste en la respuesta termográfica del búfalo de agua por efecto de la radiación solar Vs. la sombra natural, cuando se comparan los termogramas y los gráficos de temperatura corporal.

En la imagen termográfica **A**, se presentan los valores de la temperatura superficial en la región lateral, expresando una temperatura mínima de 32.4°C. En la gráfica **B**, se distingue el descenso de 4.9°C en los búfalos de agua expuestos a sombra artificial, en contraste con los búfalos expuestos a radiación solar directa, mientras que en la imagen **C**, se indica la temperatura de la región lateral del búfalo de agua bajo techo artificial cuando la temperatura ambiente es de 39 °C. Cabe hacer notar que la temperatura superficial promedio en ésta región corporal es de 29.0 °C. Asimismo en la imagen **D**, se puede identificar la temperatura del morro bajo la exposición directa al sol con un promedio de 36°C, mientras en la imagen **F**, en esta misma región anatómica, bajo la sombra artificial la temperatura es de 32.3°C, que en comparativa se muestran en la gráfica **E**. Por otro lado, los termogramas (**G**, **I**) presentan la temperatura de la carúncula lagrimal de 36.3 y 34.3°C, en condiciones de radiación solar directa en contraste con la sombra artificial, respectivamente. En la gráfica **H**, se indica como los búfalos de agua expuestos a radiación solar directa, muestran un incremento de 2°C en comparación con los mantenidos bajo sombra artificial.

Al comparar estas ventanas térmicas en ambas condiciones, los resultados preliminares indican que los búfalos de agua mantenidos bajo sombra artificial muestran marcados descensos de la temperatura corporal superficial en diferentes regiones, lo que supone una alternativa viable para reducir el estrés por calor de los búfalos de

agua en ambientes tropicales húmedos de latinoamérica (Bertoni et al., 2019). Con ello, los animales estarían siendo eficientes biológica y productivamente.

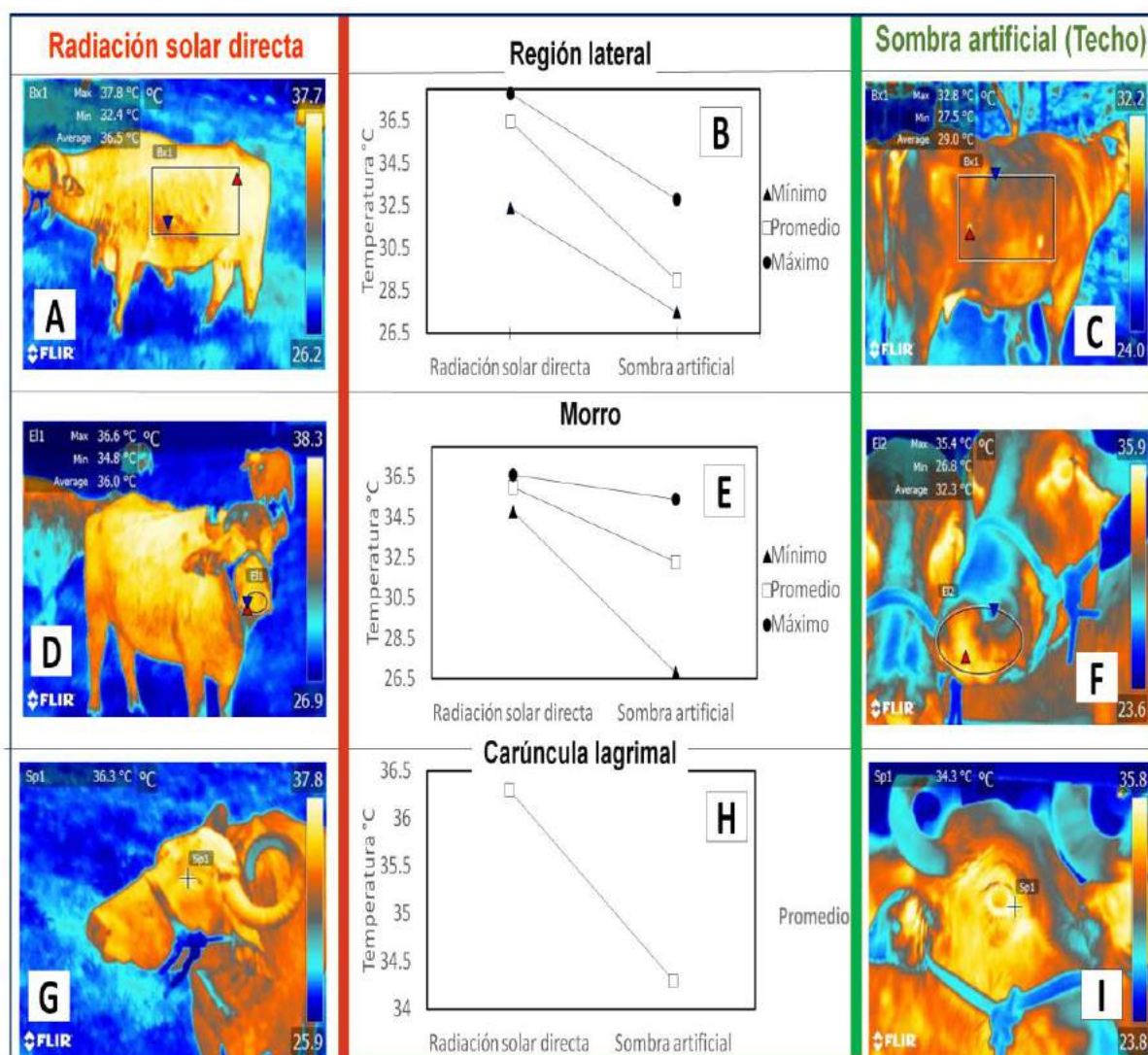


Figura 1. Comparación de los cambios microcirculatorios de diferentes ventanas térmicas en el búfalo de agua. En las diferentes imágenes, se muestran los desbalances en la temperatura superficial dérmica, detectados por medio de equipo de termografía infrarroja (IRT) en búfalos de agua bajo condiciones de radiación solar directa y bajo la sombra artificial en el trópico húmedo latinoamericano (Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; Mota-Rojas et al., 2020a,b).

Bienestar del búfalo de agua, bovino europeo y bovino índico: aspectos medioambientales, fisiológicos y conductuales en respuesta a la sombra natural y artificial | BM EDITORES

Por otro lado, el estrés calórico ejercido por el ambiente, además repercute sobre el perfil endocrino de los animales y esto a su vez, en la productividad de carne y/o leche debido a que el metabolismo del animal se ve alterado. Búfalos lecheros de la raza Murrah mantenidos en alojamientos sombreados en el día y a la intemperie durante la noche, a los cuales se les administra alimento durante la temporada de verano, tienen mayor producción de leche que en alojamientos con dispositivos de enfriamiento inadecuados. Por ello, Khongdee et al. (2013), estudiaron el efecto de la modificación del techo sobre las condiciones ambientales durante la temporada de verano en Tailandia. Estos investigadores encontraron que un establo al aire libre con un tipo de cobertizo abierto orientado en dirección Este-Oeste y con el frente orientado al norte, equipado con lámina acanalada de acero (punto más alto de 4 m de altura sobre el suelo con una pendiente de 0,375 m/m) y colocando un malla sombra (WpSC0 con 80% de sombra) a 100 cm por encima de la lámina acanalada y permitiendo la ventilación; disminuye la temperatura ambiente y el índice de temperatura-humedad (THI) en el cobertizo; reduciendo el estrés calórico en los búfalos jóvenes.

Por otro lado, los investigadores recomiendan utilizar malla sombra en unidades de pequeños productores por ser económica. En cuanto a las respuestas fisiológicas y el rendimiento en el crecimiento de búfalos machos jóvenes (*Bubalus bubalis*), estos mismos investigadores

encontraron una disminución significativa en al menos un grado de temperatura corporal (rectal) en los animales, 5 litros menos de ingestión de agua (29.71 ± 0.86 Vs. 34.14 ± 1.06 litros/cabeza/día, respectivamente) ($P < 0.01$) y menor concentración de los niveles de cortisol (2.14 ± 0.24 Vs. 3.38 ± 0.37 ng/ml) ($P < 0.01$), cuando se mantenían bajo los techos adaptados con malla sombra, en comparación con aquellos búfalos bajo los techos de lámina acanalada (Khongdee et al., 2013).

En cuanto al material para construir las sombras Barman et al. (2017), encontraron que el mejor material es hacer un techo de polietileno cubierto con paja, en comparación con sombras hechas con láminas de asbesto, lámina acanalada prepintada y techo lámina galvanizada, evaluando el rendimiento en terneros de búfalo post-calostrados durante la temporada de verano por un período de 120 días.

Se concluyó que bajo sombras de paja o palma, existe el mayor promedio estadísticamente significativo en la ganancia diaria en el peso corporal de los animales, conforme incrementó la edad de los terneros (0.28 ± 0.02 Kg) ($P < 0.05$), en comparación con los techos contruidos con los otros materiales, lo cual se podría atribuir a que en materiales vegetales de palma o como la paja, la temperatura se reduce favoreciendo el confort al incrementar la motilidad intestinal, la rumia y cambios en los componentes ruminales. De igual manera,

estas condiciones de confort térmico podrían tener un efecto positivo sobre el centro hipotalámico del apetito.

MODIFICACIONES FISIOMETABÓLICAS Y SU REPERCUSIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y BIENESTAR EN BOVINOS DE CARNE Y BOVINOS LECHEROS

Los animales normalmente poseen distintos niveles de tolerancia o adaptación a los diversos factores estresantes de su ambiente, sin embargo, cuando se exceden dichos rangos, el organismo reacciona tratando de volver a estar en equilibrio u homeostasis (Martínez et al., 2016).

El estrés por calor se define como la suma de las fuerzas externas que actúan sobre un animal y que traen previstos cambios en el comportamiento, un aumento de la temperatura corporal y provocan una respuesta fisiológica manifestada fundamentalmente en un aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria (Dikmen y Hansen 2009). A su vez, conlleva a la activación de los sistemas neuronales y neurohormonales.

El grado de estimulación de estos sistemas determina la intensidad de la respuesta al estrés, así como las consecuencias que traen al organismo (Adamczyk et al., 2015).

Dentro de las consecuencias asociadas al estrés térmico debido a altas temperaturas se citan una disminución en el consumo de alimento y un incremento en la ingesta de agua. A su vez, los animales suelen permanecer más tiempo de pie en lugar de acostados, aumentan la tasa de respiración y la temperatura corporal; y en los casos más graves pueden morir (Nardone et al., 2006; Theurer et al., 2014). Cabe destacar que todos estos mecanismos representan en esencia una estrategia del organismo para mitigar el estrés y tender al equilibrio (Johnson, 1980).

Se ha determinado que en general, los bovinos pueden perder calor a través de mecanismos de conducción, convección y radiación transmitiendo la energía calórica hacia el ambiente. Sin embargo, en las vacas lecheras, al igual que en otros animales, cuando la temperatura ambiental supera la temperatura corporal, la eficiencia para perder calor por esos mecanismos disminuye. En los mamíferos se activan las rutas fisiológicas para el intercambio de calor a través de la sudoración y el jadeo. Pese a ello, no resulta ser eficiente y ante ello, de forma adicional se realizan estrategias alternas de tipo fisiológico, conductual y metabólica (Roth, 2020). Además se ha demostrado que el estrés por calor afecta la expresión génica de ciertas citoquinas y de sus receptores y, en consecuencia, al sistema inmune de estos animales (Lendez et al., 2020; Lendez et al., 2021)

El impacto del estrés por calor tiene efecto sobre las glándulas endocrinas y de este modo se promueve la liberación de cortisol, catecolaminas, e inhibe las hormonas tiroideas, tiroxina y triyodotironina, y la hormona del crecimiento (Arias et al., 2008). Del mismo modo, la noradrenalina y la adrenalina pueden elevar sus concentraciones por exposición prolongada al calor ambiental (Aggarwal y Upadhyay, 2013).

Partiendo de ello, la evaluación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (**Figura 2**) ha contribuido a un mejor entendimiento de los efectos ante el estrés por calor. Entre los efectos fisiometabólicos se eleva la concentración de cortisol, el cual es liberado de la corteza adrenal hacia la circulación sanguínea y de ahí a los órganos y tejidos blanco (Brown y Vosloo, 2017) en donde ejerce su función catabólica de los carbohidratos, con el objetivo de contar con energía para afrontar el estresor ambiental.

Tras las altas temperaturas ambientales, se activa el eje hipotálamo-hipófisis-adrenal, cuyo efecto reside en la liberación de neurotransmisores como la hormona liberadora de hormona adrenocorticotropa (CRH) en las terminaciones nerviosas de las neuronas, las cuales se distribuyen en todo el cerebro, desde el rombo encefálico hasta el hipotálamo. En el hipotálamo, la estimulación de

las neuronas provoca en la eminencia media, la liberación de CRH, que continúa por circulación hacia la adenohipófisis o hipófisis anterior.

En este órgano, la CRH estimula la secreción de hormona adrenocorticotrópica (ACTH); posteriormente, la ACTH ingresa a circulación general actuando sobre la corteza adrenal para estimular la secreción de glucocorticoides (Mohankumar et al., 2012). Sin embargo, paralelamente, la activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal, ejerce un efecto inhibitor sobre el eje hipotálamo-hipófisis-gonadal (HHG).

El impacto sobre este eje ocurre dado el efecto de CRH y el cortisol, los cuales inhiben la secreción de hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) del hipotálamo. Adicionalmente el cortisol ejerce un efecto inhibitor sobre la secreción de la hormona luteinizante (LH) a partir de la glándula hipófisis y estradiol del ovario, provocando un efecto inhibitor del estradiol en los tejidos diana o blanco para esta hormona (Huber et al., 2020) (**Figura 2**).

Tras la resistencia del organismo a temperaturas ambientales elevadas, los glucocorticoides ejercen diversos efectos como la degradación de proteínas a fin de incrementar la concentración de aminoácidos para la síntesis de proteínas o de energía (ATP).

De igual forma, el cortisol estimula la degradación de triglicéridos y liberación de ácidos grasos del tejido adiposo hacia circulación sanguínea con el fin de promover una compensación ante la disminución de la ingesta de alimento y al mismo tiempo actúa como un vasodilatador para promover la pérdida de calor (Aggarwal y Upadhyay, 2013; Tortora y Derrickson, 2010).

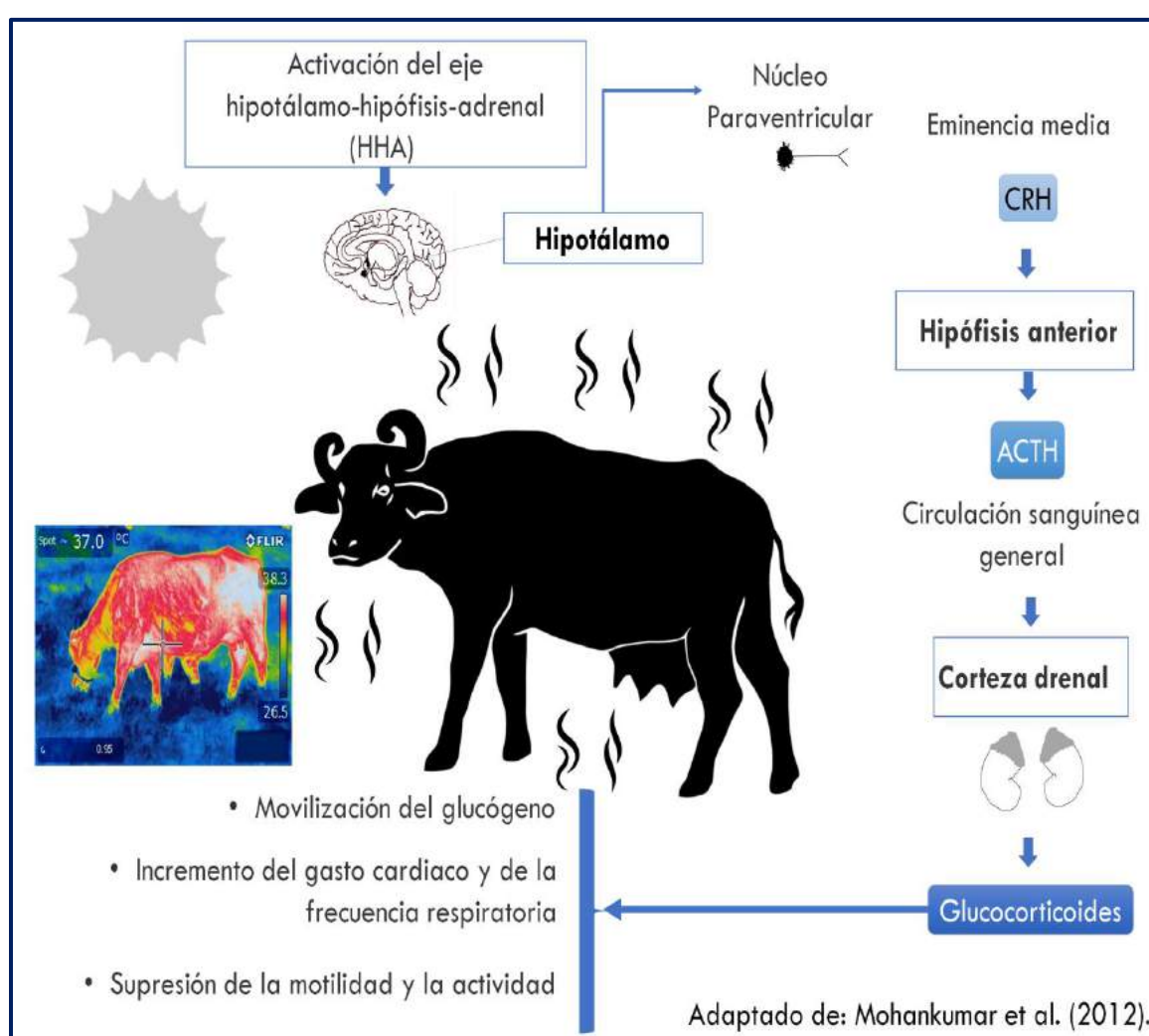


Figura 2. Respuesta fisiológica ante el estrés por calor

A pesar de que los glucocorticoides contribuyen a la pérdida de calor, si esta condición adversa persiste, su liberación ejerce un efecto sobre el sistema inmune del individuo, generando vulnerabilidad a padecer enfermedades como salmonelosis o neumonías por *Pasteurella sp* (Manteca et al., 2013). Este hecho puede estar relacionado con lo evidenciado en vacas Holstein alemanas por Koch et al. (2019), los cuales evaluaron la respuesta potencial de las células inmunes bajo estrés por calor, la caracterización de células inmunes, la respuesta al estrés oxidativo, así como la integridad de la barrera intestinal en el yeyuno bajo dos estadios bioclimáticos: uno de ellos con temperatura ambiente de 28°C, 52% de humedad relativa, THI 76, alimentados *ad-libitum*; y otro bajo condiciones que incluían hasta 15°C de temperatura ambiental, 63% de humedad relativa, THI 60 y una alimentación restrictiva. A través de métodos histológicos, aislamiento de ARN, inmunohistoquímica, PCR, Western Blot y ELISA, los investigadores determinaron que la altura de las vellosidades del yeyuno se ven directamente afectadas por la reducción de la ingesta (energía y nutrientes). Asimismo, los investigadores determinaron que el grupo dominante de células infiltrantes en la submucosa fueron células similares a macrófagos. Además, observaron alteraciones en las proteínas de unión yeyunal, lo cual podría sugerir una barrera intestinal deteriorada, permitiendo la penetración de antígenos y desencadenar una respuesta inmune modulada e inducir un mecanismo de defensa antioxidante para mantener la homeostasis

Bienestar del búfalo de agua, bovino europeo y bovino índico: aspectos medioambientales, fisiológicos y conductuales en respuesta a la sombra natural y artificial | BM EDITORES

entre bacterias comensales y el sistema inmune yeyunal (Koch et al., 2019). Por otro lado, Lendez et al. (2020;2021); demostraron que el estrés por calor disminuye la expresión de ARNm de TNF- α y sus receptores en las vacas lecheras expuestas a condiciones ambientales similares a 8.5 ± 1.09 h diarias con una THI >68 . Los animales no adaptados fisiológicamente a las altas temperaturas tienen una menor expresión de TNF- α y de sus receptores, lo que se traduce en una respuesta inmune menos eficiente y, por lo tanto, estos animales podrían ser más susceptibles a enfermedades oportunistas (Lendez et al., 2020; Lendez et al., 2021).

PÉRDIDA DE CALOR CORPORAL FRENTE AL FRÍO

El enfriamiento por evaporación se lleva a cabo principalmente a través de la sudoración, aunque en mamíferos no humanos existen otros mecanismos para generar un enfriamiento por evaporación, los cuales sufren modificaciones de acuerdo con la especie; ejemplos de estos mecanismos son la salivación y propagación de la saliva en toda la superficie cutánea o el pelo, así como la evaporación a través del jadeo que se genera desde el tracto respiratorio (Morrison, 2011).

En 1998 se realizó un estudio comparativo entre un estado normotérmico e hipertérmico para determinar la actividad simpática en estos estados y se encontró que dentro de un estado hipertérmico

la actividad sudomotora aumenta en un 80%, denotando su predominancia en tales condiciones; es decir que el enfriamiento por evaporación representa el principal mecanismo para disipar el calor (Sugenoya et al., 1998).

Sin embargo frente a climas con temperaturas de congelación o bajo cero, los búfalos de agua han desarrollado mecanismos para evitar perder calor y mantener la termoneutralidad, como es el crecimiento de pelo fino durante el invierno europeo (Figura 3).

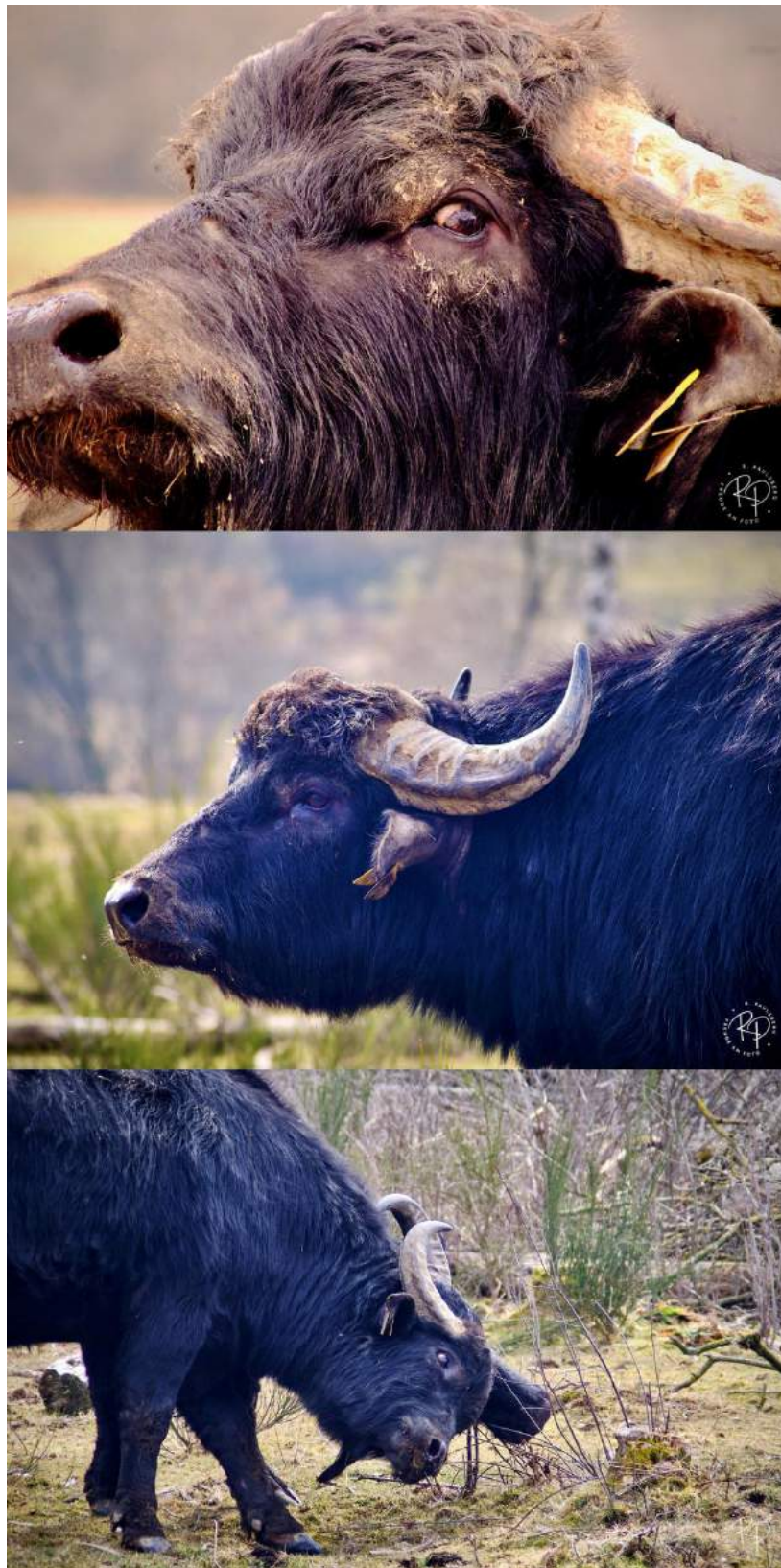


Figura 3. Búfalos de agua en la región de Vulkaneifel, Alemania durante la época invernal. (Fotografías, cortesía Ralf Paulsberg, Alemania).

EFFECTO DEL ESTRÉS TÉRMICO EN HEMBRAS

La actividad ovárica, se encuentra regulada por gonadotropinas, las cuales son liberadas por la hipófisis a partir de la hormona liberadora de gonadotropina desde el hipotálamo (Aggarwal y Upadhyay, 2013). Sin embargo, el impacto del estrés por calor se ha reflejado en afecciones reproductivas entre las que se mencionan: la pérdida de la ciclicidad del estro, tasas reducidas de ovulación y concepción, así como el aumento de los intervalos entre partos. Se cree que una posible explicación a este hecho es debido a una reducción en la concentración de noradrenalina en el hipotálamo o un aumento en la hormona liberadora de corticotropina, dando como resultado la reducción en los niveles de la hormona liberadora de gonadotropina, la hormona luteinizante y los niveles de estradiol (Mohankumar et al., 2012).

Adicionalmente, Schüller et al. (2016) comprobaron que las vacas Holstein bajo estrés calórico, ya sea a corto o a largo plazo, muestran menor probabilidad de quedar gestantes y esto va ligado al tipo de semen empleado. Esto es, al utilizar semen congelado-descongelado, las vacas bajo la exposición directa al sol a largo plazo mostraron un 63% menos de probabilidad de resultar gestantes. Esto probablemente a causa de una pérdida de folículos y la aparición temprana del folículo

dominante en las hembras receptoras (Schüller et al., 2016; Wolfenson et al., 1995).

Por su parte, aquellas vacas bajo estrés por calor a corto plazo, con inseminación artificial con semen fresco, mostraron un 80% menos de probabilidad a resultar gestantes en comparación con las vacas mantenidas el mismo periodo sin estrés calórico.

El estrés por calor también ha ejercido un impacto negativo sobre la involución mamaria al atenuar la apoptosis mamaria y la actividad autofágica provocando de esta forma, una reducción en la proliferación celular, interviniendo directamente sobre la producción de leche para la siguiente lactancia (Tao et al., 2019).

De igual forma, en vacas de gestación avanzada, el estrés térmico se ha asociado con desbalances en los niveles de hormonas placentarias. Este efecto podría conllevar a la reducción del crecimiento fetal y en los becerros con un menor peso al nacer en comparación con aquellas vacas a las que se les permitió bajar su temperatura por medio de evaporación durante el verano (Tao et al., 2019).

EFFECTO DEL ESTRÉS TÉRMICO EN MACHOS

De acuerdo con Morrell (2020), la temperatura testicular ronda entre los 32°C para una espermatogénesis normal y la temperatura

ambiental con o sin humedad puede interferir con la pérdida de calor por evaporación en la superficie escrotal. De esta forma el impacto del estrés por calor puede influir en el volumen de eyaculación, en la concentración de hormonas sexuales, la espermatogénesis e incrementar las anormalidades en los espermatozoides (Ahmad Para et al., 2018).

En este sentido Llamas Luñero et al. (2020), analizaron el espermatozoide de 6 toros Holstein, para evaluar el desarrollo de embriones *in vitro* bajo dos estadios: THI elevado (máximo 77.9 y 80.5) y un THI bajo (máximo 51.8 y 55). Los resultados arrojaron que el THI elevado provocó hasta un 31.5% de muerte celular en comparación con el 27.6% para THI bajo. Además se mostró una disminución en las tasas de blastocisto en el séptimo (15.3 THI elevado Vs. 20.9% THI bajo) y octavo día (23.2 % THI elevado Vs. 29.6% THI bajo) después de la inseminación en comparación con el grupo cuyo THI bajó. Esto podría expresarse con una disminución de la fertilidad como consecuencia del estrés por calor al usar técnicas *in vitro*, lo cual puede verse reflejado en importantes pérdidas económicas (Llamas Luceño et al., 2020).

INFLUENCIA DE LA SOMBRA NATURAL

La diferencia en la temperatura superficial de las vacas primíparas de raza Canchim ($\frac{3}{8}$ Charolais $\times$ $\frac{3}{8}$ Cebú) alojadas bajo condiciones de sistema silvopastoril, en contraste con un sistema de monocultivo ha sido estudiado a través de la termografía infrarroja en dos regiones anatómicas: dorso y tronco. Los resultados exhibieron temperaturas superficiales más bajas en el dorso ($31.9 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$) y en el tronco ($32.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$) en animales alojados bajo condiciones de silvopastoreo, en contraste con los sistemas de monocultivo al mostrar $32.8 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ en dorso y $32.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ en tronco (Giro et al., 2019). (**Figura 4**).

Por otra parte, Foust y Headlee (2017), estudiaron en vacas gestantes *Bos indicus* de 4 a 12 años de edad los efectos en la diferencia en la temperatura y el índice de carga calórica (ICC) experimentado bajo la sombra dada por los árboles en comparación con la exposición directa al sol, tratando de determinar cómo es que la temperatura se modifica con el uso de los árboles para otorgar sombra a lo largo del día. La exposición al calor fue determinada mediante la temperatura del globo negro (BGT) que consiste en la temperatura dentro de un globo de cobre que ha sido pintado de negro para maximizar la absorción de calor, colocados en cada árbol y en la zona no sombreada. Asimismo, la temperatura ambiental se registró mediante la captura de imágenes entre las 6:00 y 22:00 horas.

Los resultados de temperatura del globo negro sin sombra fueron significativamente mayores (4.1 a 6.5°C) a lo largo del día, cuya temperatura máxima alcanzó los 41.3°C en promedio a las 14:00 horas, mientras que la BGT bajo la sombra del árbol, alcanzó una temperatura máxima de 34.8°C, cuyo índice de carga de calor fue de 82.8 en contraste con el 89.6 mostrado en la exposición directa al sol. Esto permitió concluir que los árboles proporcionan efectos significativos favorables sobre la BGT y el ICC (Foust y Headlee, 2017).

Por otra parte, una de las aplicaciones prácticas para medir el estrés por calor es mediante la tasa de frecuencias respiratorias (rpm), que de acuerdo con la propuesta de Silanikove (2000) se clasificaron en: bajo, 40-60 rpm; medio, 60-80 rpm; alto, 80-120 rpm; severo, por encima de 150 rpm. Rovira y Velazco (2010) evaluaron la tasa de respiración de 30 novillos distribuidos en tres tratamientos: sin sombra, sombra por árboles y sombra natural. Los autores observaron que los novillos sin sombra mostraron la tasa de respiración más alta (74 ± 22 rpm), seguida de la sombra artificial (67 ± 18 rpm) y finalmente la sombra por árbol (61 ± 12 rpm), resultando esta última la más baja de todas, con lo cual se puede concluir que mantiene el confort térmico de los novillos (**Figura 4**).

Asimismo, con la finalidad de identificar la influencia climática y los factores relacionados con la tasa de respiración en las vacas lecheras Holstein Friesian de alto rendimiento ($n=84$), con una producción promedio de 41.08 ± 6.72 kg por vaca/día (y un mínimo de 25kg), Pinto et al. (2019) evaluaron dos condiciones: caliente y frío. Para la ejecución del análisis, los autores determinaron la frecuencia respiratoria por medio de la visualización de los movimientos toracoabdominales, así como las posturas: “de pie” y “postradas/descansando echadas” además de considerar el rendimiento de leche. Se encontró que a medida que aumentaba el THI, los animales mostraban frecuencias respiratorias más altas, además, aquellas vacas que se encontraban postradas/descansando echadas mostraron una frecuencia respiratoria más alta (37 ± 11.1 respiraciones por minuto (rpm) con $\text{THI} < 68$) en comparación a aquellas que se encontraban de pie (30 ± 8.51 rpm) con $\text{THI} < 68$) (Pinto et al., 2019).

La explicación se atribuye a que los animales están más expuestos al mecanismo de convección por el viento o bien, a causa de la compresión del diafragma por el rumen y por tanto provocando la disminución en la capacidad respiratoria y la efectividad de la respiración. Además, se determinó que la frecuencia respiratoria aumentaba conforme a la producción de leche; de esta forma, vacas cuyo rendimiento de leche fue de 60 kg/día obtuvieron 9 respiraciones

por minuto más en comparación con las vacas con un rendimiento de 25 kg/día. Esto fue interpretado como un mayor esfuerzo en vacas de alto rendimiento debido a la energía metabolizable para la producción de leche ante aumentos considerables de THI. De esta forma se considera que la medición de la frecuencia respiratoria es una aplicación práctica para evaluar el estrés por calor en granjas lecheras (Pinto et al., 2019).

Otras variables como el jadeo, la temperatura corporal, el cortisol o sus metabolitos en leche y heces han sido determinados para evaluar el estrés por calor en vacas lecheras Holstein (n=20), esto, bajo dos condiciones: mediante la presencia de sombra con árboles y sin acceso a la sombra. Los resultados mostraron que los animales sin acceso a la sombra mostraron un aumento en la frecuencia del jadeo, en la temperatura rectales y un incremento en las concentraciones de cortisol fecal hasta en un 400% cuando el índice de carga calórica aumentaba de 50 a 79, pese a que no se encontró diferencia significativa con la presencia de sombra, se evidenció que la sombra atenuó los efectos de la respiración, temperatura rectal y metabolitos de cortisol fecal (Veissier et al., 2018).

Por otro lado, la evaluación de la ganancia de peso en vaquillas lecheras (cruza $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ Holstein $\times$ Cebú) mantenidas en sistema de monocultivo o sistema silvopastoril ha sido investigada por Paciullo et al., (2011). Los resultados mostraron ganancias de 512 g/día en el peso

anual de las vaquillas que se encontraban bajo el sistema silvopastoril, en contraste con las vaquillas alojadas en el sistema de monocultivo (452 g/día); (Paciullo et al., 2011) (**Figura 3**).

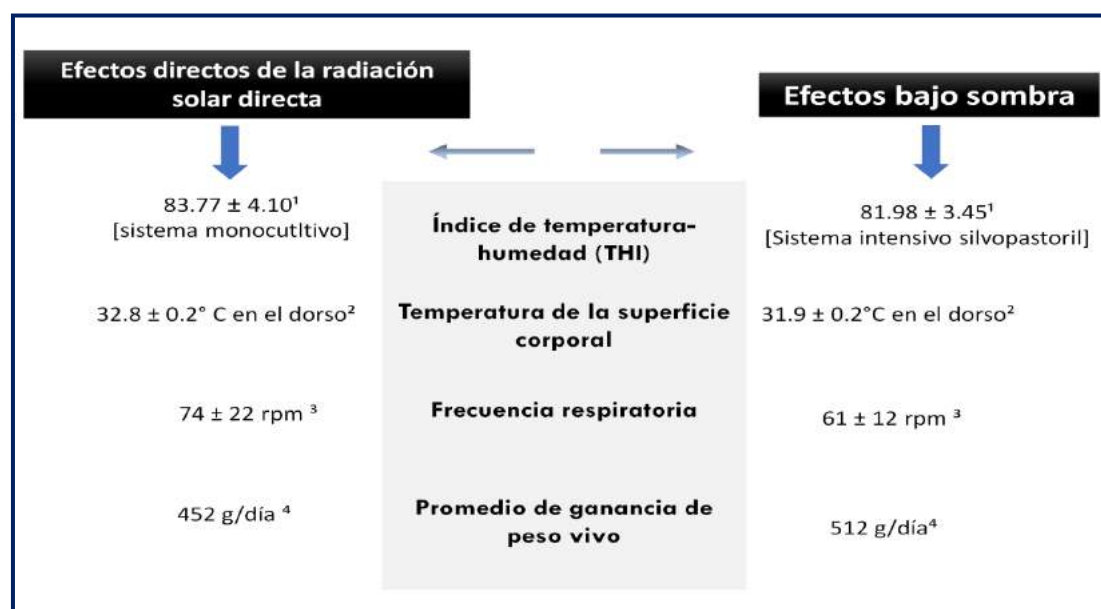


Figura 4. Comparación del efecto de la sombra natural sobre la exposición directa al sol. Obsérvese la disminución del THI bajo el efecto de la sombra (Améndola et al., 2019) (1), además de proporcionar una reducción en la temperatura superficial del individuo (Giro et al., 2019) (2), ejerce un efecto en el cuerpo del bovino al mitigar el estrés por calor, ante la disminución de la frecuencia respiratoria (Rovira y Velazco, 2010)(3). Finalmente se muestra evidencia sobre la influencia de la sombra sobre el aumento de peso promedio (Paciullo et al., 2011), mostrando una diferencia promedio de 60 g/día (Paciullo et al., 2011) (4).

Martínez et al. (2019), monitorearon 246 terneros pertenecientes a 19 tambos (hatos lecheros) en días con $\text{THI} \geq 72$ para la franja horaria de 12 a 15. Se categorizaron los registros obtenidos en: estrés ligero, moderado o severo. Se registró la posibilidad o no de acceder a la sombra, el disponer o no de agua para consumo, la posición y la actividad principal que desarrollaba, también se evaluó la temperatura

rectal (TR) y la frecuencia respiratoria (FR). Se detectaron diferencias ($p = 0,0138$) en la posición de aquellos animales expuestos a condiciones de estrés moderado Vs. severo. La TR promedio fue diferente ($p = 0,0063$) entre los animales de la categoría estrés ligero respecto a las otras dos categorías ($> 39,2^{\circ}\text{C}$).

El valor promedio relativo a la FR resultó superior ($<0,0001$) en los terneros bajo estrés severo (>80 rpm). La correlación hallada para la variable THI respecto de TR resultó de 0,25 ($p=0,0001$), mientras que para FR fue de 0,33 ($p=<0,0001$). En relación a las prácticas implementadas se registró que el 26 % de los terneros no contaban con sombra ni agua al momento de la visita. Los valores de THI compatibles con estrés moderado y severo afectan tanto a la respiración como a la temperatura rectal en terneros de tambo, lo que trae aparejado que ambos parámetros superen a la constante fisiológica propia de la especie. Dado el valor de correlaciones detectado entre la variable THI y FR, se considera a esta última como un indicador de utilidad para evaluar el impacto del estrés por calor en los terneros a campo.

En lo que respecta a actividad y posición los hallazgos no resultan de claridad para poder concluir respecto de su validez, por lo que se alienta a llevar adelante investigaciones que permitan evaluar dichos parámetros. Dado el bajo porcentaje de terneros que tuvieron acceso a sombra y agua en las horas de máximo THI es posible concluir que la ausencia de estas prácticas, que promueven el bienestar de los

terneros, ante condiciones climáticas compatibles con estrés por calor atenta no solo con la productividad sino también con la vida de los animales.

MODIFICACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO BOVINO A CAUSA DE ESTRÉS CALÓRICO: SOMBRA POR ÁRBOLES Vs. SIN SOMBRA

La eficiencia de los sistemas silvopastoriles contra los sistemas de monocultivo para la producción extensiva de ganado bovino ha sido estudiado a través del comportamiento exhibido por las vaquillas no lactantes cruce de *Bos indicus* x *Bos taurus* en trópico mexicano (Yucatán, Méx.) durante la temporada de lluvia, y estaciones secas. Se evaluaron los siguientes indicadores: aspectos de alimentación, comportamiento de la vaquilla: pastando o de búsqueda en el potrero; la presencia de vaquillas rumiando, marcha del individuo: inactivo, siendo este un estado de descanso donde la vaquilla no pasta y tampoco se muestra rumia, ya sea de pie o postrado, el estado del animal al momento de exhibir la rumia (de pie o descansando); porcentaje de forraje ingeridos y la distancia promedio recorrida.

Dicha investigación contempló las siguientes condiciones bioclimáticas: en sistema silvopastoril intensivo (temperatura promedio: 30.58 ± 3.12 °C; $76.07 \pm 8.44\%$ de humedad relativa; 81.98 ± 3.45 índice de temperatura y humedad [THI]) y en sistema de monocultivo (temperatura promedio: 33.24 ± 4.11 °C; humedad

relativa: $61.24 \pm 12.59\%$; índice de temperatura y humedad: 83.77 ± 4.10) y THI.

Los resultados mostraron que las vaquillas en sistema silvopastoril pasaban más tiempo descansando en comparación con aquellas que se encontraban en el sistema monocultivo durante la estación seca. Asimismo, las vacas en el monocultivo mostraron más distancias recorridas (998.98 ± 7.11 m) durante la temporada seca, mientras que en el sistema silvopastoril la distancia fue significativamente menor ($804,62 \pm 31,31$ m).

El tiempo de rumia fue significativamente más largo en sistema silvopastoril tanto en la época seca como de lluvias. Se sugiere que el sistema silvopastoril mejora el nivel de bienestar en el ganado, en comparación con un sistema con ausencia de sombra de árboles y de forraje característicos del monocultivo. Sumado a ello, los autores agregan un mejor rendimiento productivo en sistemas silvopastoriles donde el índice de temperatura y humedad determina aspectos de comportamiento del pastoreo del ganado *Bos indicus* x *Bos taurus* (Améndola et al., 2019). (**Figura 5**).

Otra investigación en la que se analizó el comportamiento ante el estrés calórico, contempló 24 vaquillas criollas (raza $3/4$ ¾ Holstein–Girolando) bajo 3 tratamientos (n=8 por tratamiento): la ausencia total

de árboles en pastizales abiertos con *Brachiaria brizantha* cv. pasto *Piatã*; presencia de árboles en la periferia (*Eucalyptus* spp.) con 49 m de separación entre hileras en un cultivo intercalado con *B. brizantha* cv. Hierba *Piatã*; y un área boscosa con pastos intercalados con *B. brizantha* cv. Pasto *Piatã* (ArrC), con árboles 15 m de espacio entre filas (*Eucalyptus* spp.). Se evaluó el porcentaje de tiempo destinado a: permanencia de los animales bajo sombra o expuestos al sol; el desplazamiento de los animales; la actividad: principalmente pastoreo, rumia, e inactividad, así como, ingestión de agua y ensilaje.

Los resultados más relevantes mostraron que el grupo sin presencia de árboles y solo pasto, se vio más afectado al mostrar una disminución en el consumo de ensilaje (26% del tiempo destinado), en comparación con el grupo mantenido bajo los árboles alineados (29.3%) y el tratamiento con el área boscosa (29%), sin mostrar diferencias significativas entre ambas. En cuanto a la variable desplazamiento, los animales asignados al grupo sin presencia de árboles mostró un aumento de este comportamiento (3.2%) en contraste con el 1.8 % en el grupo con árboles periféricos y 1.3% en el área boscosa. De ese modo se observó que los animales alojados en el área boscosa mostraron mayor tiempo dedicado al reposo (Lopes et al., 2016).

Giro et al. (2019) evaluaron el comportamiento de bovinos Canchim ($\frac{5}{8}$ Charolais $\times$ $\frac{3}{8}$ Cebú) bajo dos tratamientos: cultivo integrado-

ganadería-silvicultura y monocultivo. Para la evaluación del comportamiento individual mediante observaciones directas, con registros instantáneos mediante la técnica de escaneo a intervalos de 5 minutos. Se registraron las siguientes conductas:

Pastoreo, siendo el tiempo dedicado a las etapas de selección y prehensión de forraje, masticación y deglución; rumia, definido como el tiempo dedicado a la ejecución de movimientos mandibulares, sin pastoreo; “Descanso” descrito como el acto ausente de pastoreo ni rumia. “Postura”: de pie o acostado, siendo este último presente cuando su abdomen estaba haciendo contacto contra el suelo. Los resultados mostraron que los animales mantenidos bajo el sistema silvopastoril mostraron efectos benéficos sobre la rumia al mostrar mayor tiempo destinado a este comportamiento (42.9 ± 2.2) en comparación con los animales mantenidos en el monocultivo (36.6 ± 2.2 min).

Otro comportamiento relevante fue el tiempo de descanso, al ser más corto durante las mañanas en el sistema silvopastoril (57.6 ± 2.7 minutos), a diferencia de lo mostrado en condiciones de monocultivo (65.9 ± 2.8 minutos). Esto se puede explicar como un signo de incomodidad térmica y es similar a lo encontrado por Vizzotto et al. (2015), quienes mencionan que el ganado descansa más tiempo con el fin de disminuir la generación de calor endógeno, sumado a la permanencia de pie del animal, para permitir la disipación de energía

térmica por convección, facilitando la termorregulación. Cabe mencionar que el tiempo de pastoreo y otras actividades no difirieron entre tratamientos durante la tarde (Giro et al., 2019).

La frecuencia del comportamiento “echado” en respuesta a las temperaturas extremas también ha sido estudiada en terneros Holstein con un mes de edad bajo dos tratamientos uno con sombra (n=8) y otros sin sombra (n=8). Por medio de un acelerómetro tridimensional se registró la postura, el tiempo de reposo y la frecuencia, los cuales se analizaron en intervalos de 4 horas durante 5 días. Los resultados mostraron que el día 2, resultó ser el más caluroso (38.8°C como temperatura máxima). Los terneros con carencia de sombra cambiaron de postura en un 84.4 y 76.6% más en comparación con los animales mantenidos bajo áreas sombreadas (Kovács et al., 2018).

Además, es posible mencionar que la frecuencia y el tiempo de reposo en terneros de razas lecheras pueden verse influenciados por el estrés calórico, dentro de este planteamiento los autores mencionan que proveer de sombra, reduce la frecuencia de mantenerse echado, pero no interviene en el tiempo que pasa en esta posición (Kovács et al., 2018).

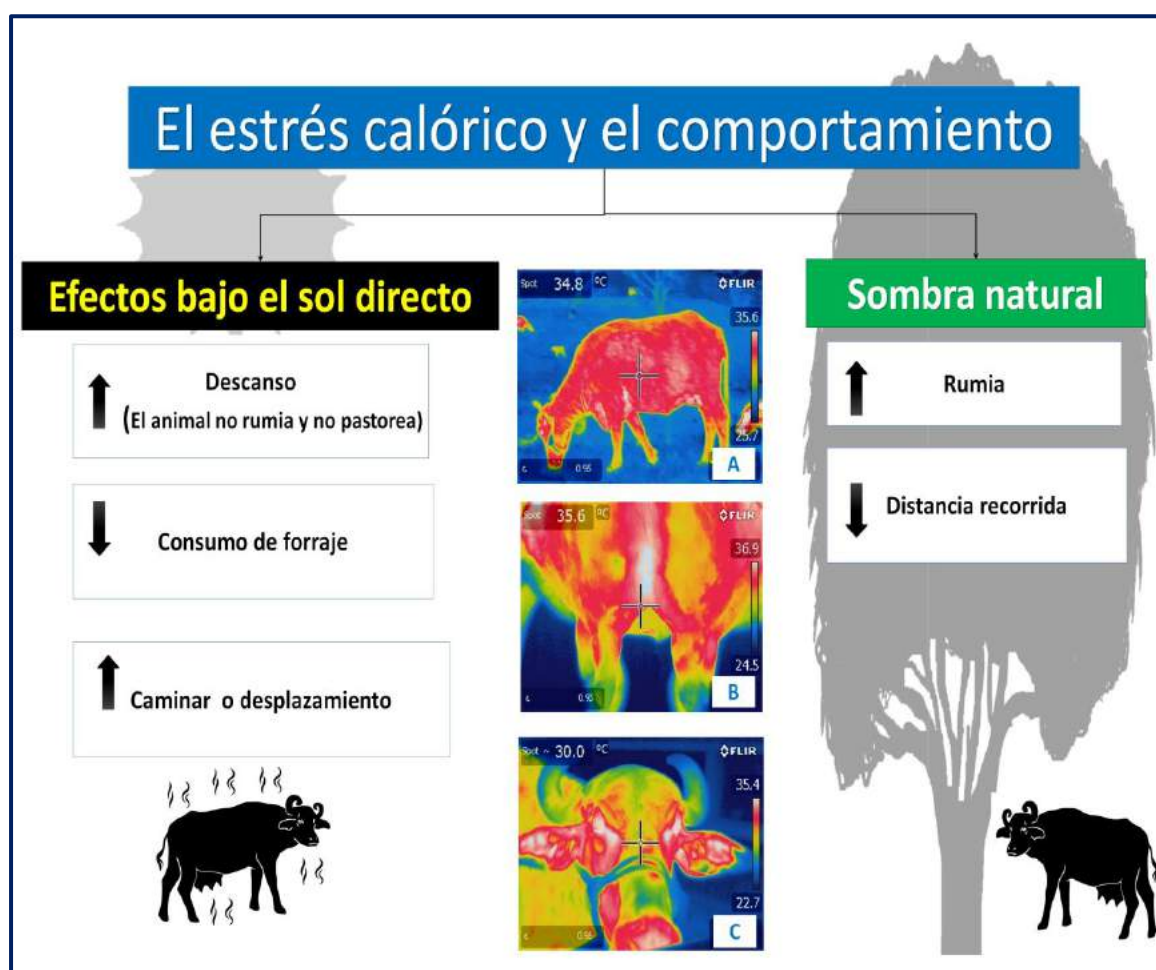


Figura 5. Cambios de conducta ante la exposición directa al sol en contraste con la sombra natural. El efecto del árbol sobre los *Bovidae* provoca la reducción en las distancias recorridas, produciendo mayor tiempo destinado a la rumia. Esto muestra un efecto positivo, ya que la rumia es uno de los indicadores para evaluar el estado de salud y bienestar del animal. La radiación solar y el efecto sobre el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*), puede ser monitoreada mediante equipo de termografía infrarroja como se aprecia en los termogramas al centro de la figura. **A.** Búfalo pastoreando, **B.** Ubre post-ordeño, **C.** Zona rostral de una búfala que está siendo ordeñada.

SOMBRA ARTIFICIAL

El diseño del techo, incluyendo altura y longitud, así como el material de construcción, juegan un papel importante en la modificación del

microclima y la reducción de la carga de calor dentro del alojamiento (Narwaria et al., 2017). En relación con esto, Rovira y Velazco (2007) sugieren la colocación del techo a una altura de 3 o 4 metros con una ligera inclinación, y además, se deberá considerar el espacio destinado por animal, el cual ronda entre 3 y 4 m² de sombra por novillo, con atención a la orientación, que al colocarse en este-oeste podría aumentar las horas de sombra en el día.

A pesar de la diversidad de materiales para la construcción de techos, estos ejercen distintos efectos sobre las variables microclimáticas, el THI (Cuadro 1), los parámetros fisiológicos, de comportamiento, la alimentación, eficiencia productiva, valores bioquímicos y hormonales del animal (Narwaria et al., 2017).

INFLUENCIA DEL MATERIAL DEL TECHO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS BOVINOS

El rendimiento productivo en ganado de carne bajo la exposición directa al sol y la provisión de sombra con láminas de acero galvanizado ha sido evaluado a través de las características de la canal, en Angus mestizos y vaquillas criollas Charolais. Los hallazgos indican que las vaquillas bajo la sombra mostraron un incremento de 11.3 kg/animal en el peso final (565kg Vs. 554.2), asimismo, se observó mayor peso en la canal caliente (352.3 Vs. 345), mayor grado de rendimiento según la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (2.40 Vs. 2.22), así como, una diferencia en

el porcentaje de corte oscuro en canal o también denominado miopatía DFD (Dark, Firm and Dry), 8.3% en vaquillas bajo la sombra en comparación con lo encontrado para las vaquillas sin sombra (19.1%); (Mitlohner et al., 2002).

Comparación del THI bajo diferentes materiales en techo

Sujetos de estudio	Material	THI	Referencias
Bovino cruza de Indobrasil x Brahman Vaquilla	Lámina acanalada de acero	82.00 ± 3.09	(Khongdee, 2016)
	Lámina acanalada de acero con malla sombra (WPSC)	80.26 ± 3.02	
Becerras cruza con Vrindavani	Paja	80.72 ± 0.29	(Kamal et al., 2016)
	Agro-net (malla verde)	79.68 ± 0.35	
	Asbesto lienzo de algodón como sombra	82.86 ± 0.33	
	Árboles	82.68 ± 0.44	
Vacas lecheras (India)	Paja	74.54 ± 1.72	(Sivakumar et al., 2017)
	Teja	76.30±1.72	
	Metal	75.67±1.72	
	Cemento/ concreto	77.23 ± 1.76	
	Método abierto de crianza	74.73±1.81	
Vaquillas cebú (3/4-cebú, cruza con alguna raza europea (<i>Bos taurus</i>), específicamente Pardo Suizo, Holstein y Simmental)	Techos térmicos (invernaderos de plástico)	60.7 ± 8.7	(Valadez-Noriega et al., 2020)
	Sin techo	59.4 ± 9.7	

Cuadro 1. Variabilidad del THI, en diferentes especies y sombras construidas con diferentes materiales. Se muestra recopilación científica sobre la variabilidad del THI con diferentes materiales. Donde el hierro galvanizado con WPSC, Agro-net y paja obtuvieron los valores más bajos de THI en comparación a otros materiales.

Bienestar del búfalo de agua, bovino europeo y bovino índico: aspectos medioambientales, fisiológicos y conductuales en respuesta a la sombra natural y artificial | BM EDITORES

Asimismo, Bellagi et al. (2017) al comparar en vacas Holstein (n=543) y Terentaise (n=435), la resistencia a condiciones climáticas del mediterráneo y evaluar las características del establo con la eficiencia de producción lechera durante el verano, se encontró un THI de 75.4 durante el verano. Los investigadores notaron que a medida que aumentaba el THI disminuía la producción láctea hasta un 0.93 kg/día en vacas Holstein y 0.15 kg/día en Terentaise. Además en las vacas Terentaise se observó mayor tolerancia al estrés por calor, pese a que no se mostraron diferencias significativas entre ambos grupos con respecto a la composición de la leche, se presentó la reducción en el contenido de grasa, urea y proteína en la leche para ambas razas, lo cual puede deberse a una menor ingesta de alimento a causa del estrés por calor originando cambios en la glándula mamaria.

Por otro lado, los autores determinaron que las instalaciones cerradas conllevan a una mayor disminución en la producción de leche entre el verano y el invierno en comparación con las instalaciones abiertas (-1.13 Vs. -0.27 kg/día), la correlación entre el material del techo y la productividad mostró que un techo metalizado expresa un impacto negativo sobre la producción de leche en comparación con otros materiales -1.04 Vs. -0.15 kg/día (Bellagi et al., 2017).

Con el fin de estudiar el rendimiento en el crecimiento y los cambios fisiológicos en el ganado de carne, Khongdee (2016), estudiaron a 10

vaquillas Indobrasil x Brahman bajo dos tratamientos: vaquillas bajo un techo de hierro galvanizado corrugado (altura máxima 4m) y el grupo restante fue alojado en una instalación cuyo techo contemplaba una variante adicional con respecto al primer techo, la adición de malla sombra (WPSC) con factor sombra del 80% (Polysac, Bangkok, Tailandia) sobre el techo de lámina galvanizada. Los resultados mostraron que el grupo alojado con la variación de WPSC obtuvo una temperatura rectal más baja ($39.02 \pm 0.41^{\circ}\text{C}$ Vs. $40.05 \pm 0.67^{\circ}\text{C}$), así como niveles más altos en triyodotironina (4.08 ± 0.69 pg/mL Vs. 3.75 ± 0.92 pg/mL), en comparación los animales bajo el techo de lámina galvanizada. Además, se pudo determinar que la ingesta de materia seca fue ligeramente mayor en el grupo WPSC (7,61 kg/día Vs. 7.39 kg/día). Con ello, se concluye que la adecuación que se realizó en el techo de hierro galvanizado resultó en un mejor desempeño en el crecimiento de vaquillas de carne (Khongdee, 2016).

Valadez-Noriega et al. (2020) encontraron diferencias en el peso vivo final en novillos Cebu (Cruza $\frac{3}{4}$ de Cebú con alguna raza europea de *Bos taurus* (Pardo suizo, Holstein y Simmental), siendo mayor en aquellos novillos alojados en sombra (599.7 ± 46.4 kg Vs. 599.7 ± 46.4 kg) en comparación con los animales que no tenían sombra. La expresión del comportamiento difirió entre ambos grupos, la postura de reposo fue mayor en aquellos animales sin sombra; mientras que aquellos animales que se encontraban de pie mostraban una menor

tendencia al consumo de alimento, mientras que aquellos animales bajo sombra dedicaban más tiempo a permanecer echados descansando y rumiando.

Por otro lado, el rendimiento bioquímico, hormonal y de comportamiento han sido evaluados en terneros cruza de Vrindavani con tres días de edad mantenidos bajo sombra construidas con distintos materiales: paja Agro-net (tela malla sombra verde a base de polietileno de alta densidad al 100%, con estabilidad a la luz UV y 60% de difusión de luz), lámina de asbesto sobre la cual se colocó una tela de algodón sobre la superficie externa y el uso de un árbol (Kamal et al., 2016). Los resultados de química sanguínea mostraron en general una concentración de hemoglobina más alta (10.61 ± 0.46 g/dL) en el material de Agro-net en comparación con el techo de asbesto (9.47 ± 0.25), lo cual podría ser debido a una mayor adaptabilidad de los animales a las condiciones extremas. Los niveles más altos de glucosa correspondieron a los animales bajo techo Agro-net (46.44 ± 1.21 mg/dL) en comparación con los animales en sombras con los otros materiales (paja 10.51 ± 0.43 ; asbesto 9.47 ± 0.25 ; árbol 10.58 ± 0.36).

Estas diferencias en los niveles fisiológicos pueden ser el resultado de una mayor disposición a alimentarse por parte del ternero. Asimismo, los niveles de fosfatasa alcalina fueron significativamente mayores en el grupo mantenido bajo sombra del árbol, seguido del techo de

asbesto, lo cual podría explicarse por un aumento de la ventilación alveolar y alcalosis. De igual modo, animales mantenidos en potreros con sombras hechas con techos de paja y con malla sombra Agronet, mostraron los valores significativamente más bajos de las enzimas transaminasa glutámico oxalacética sérica y transaminasa piruvicoglutámica sérica, mientras que los animales tanto para sombra por árbol y la sombra de asbesto mostraron mayores valores de estas enzimas probablemente para compensar otros efectos negativos del estrés térmico sobre los mecanismos homeostáticos fisiológicos y bioquímicos de los animales.

Cabe mencionar que los niveles de cortisol fueron más bajos en el grupo alojado con Agro-net en comparación con las sombras de los otros materiales [7.39 ± 0.75 Vs. paja 9.82 ± 1.55 ; Asbesto 10.40 ± 1.04 , árbol 9.70 ± 1.11 (nM/L)], lo cual podría indicar un ambiente cómodo y libre de estrés. Por otro lado también se encontró una tendencia decreciente con respecto a los niveles de triyodotironina sérica (T3) y tiroxina sérica (T4) como respuesta al incremento de la temperatura ambiental. Lo anterior debido a que las hormonas tardan en alcanzar un nuevo equilibrio como respuesta al estrés calórico (Kamal et al., 2016).

Aunado con lo anterior, la expresión de los comportamientos en los animales del grupo con Agro-net destinaron la mayor parte del tiempo alimentándose, rumiando, descansando, durmiendo o jugando, en

contraste con los animales alojados bajo las sombras construidas con los otros materiales (paja, asbesto y árbol) donde la rumia y el descanso se vieron negativamente influenciados por la falta de comodidad, lo cual podría deberse a que al permanecer de pie, las vacas maximizan la evaporación del cuerpo, mientras al mismo tiempo pueden escapar la energía por la conducción y radiación de la superficie de la tierra.

Debido a la respuesta fisiológica, bioquímica y conductual antes mencionada, el techo a base de Agro-net podría ser una buena opción para promover un microclima adecuado para los animales (Kamal et al., 2016).

PERSPECTIVAS

La presente revisión muestra evidencia sobre el impacto de la sombra natural y artificial sobre el bienestar del búfalo de agua y del bovino frente a condiciones de estrés por calor, de esta forma se esperaría que la sombra sea considerada como una pieza clave para mitigar el estrés por calor, que puede combinarse con otros sistemas de enfriamiento como aspersores o ventiladores, sin embargo, aún se esperaría mayor investigación sobre la efectividad de los métodos de enfriamiento a través de los diferentes materiales de construcción para techo con el fin de promover el bienestar del individuo y por

ende generar efectos positivos en la producción de los búfalos de agua y bovinos *Bos taurus* y *Bos indicus*.

CONSIDERACIONES FINALES

Ante el estímulo térmico, se activan mecanismos para hacer frente al factor estresor, resultando en una serie de modificaciones entre las que se encuentra la producción de glucocorticoides, la inhibición de hormonas como la LH, originando afecciones reproductivas en hembras, expresándose en menores tasas de gestación.

El uso de la sombra natural y artificial contribuye de forma positiva a mitigar los efectos del estrés por calor, al disminuir los valores de THI, frecuencia respiratoria y de cortisol en comparación a tratamientos sin sombra.

Pese a que la sombra artificial muestra mayor eficiencia para reducir el estrés por calor, la sombra natural ejerce efectos positivos como destinar más tiempo a actividades como la rumia, una disminución del tiempo destinado a desplazarse y mayor consumo de ensilaje principalmente, promoviendo el bienestar en los búfalos y bovinos (*Bos taurus* y *Bos Indicus*).

Finalmente, es preciso mencionar que proveer la sombra mediante construcciones realizadas con lámina galvanizada corrugada con

WPSC, Agro-net, la palma y/o paja y plásticos de invernadero podrían ejercer mejores efectos al obtener valores más bajos de THI en comparación con los materiales metalizados normales o a la intemperie, esto podría generar mayor eficiencia en parámetros productivos, fisiológicos y comportamentales.

REFERENCIAS

- Adamczyk, K., Górecka-Bruzda, A., Nowicki, J., Gumułka, M., Molik, E., Schwarz, T., Earley, B., Klocek, C., 2015. Perception of environment in farm animals - A review. *Ana. Anim. Sci.* 15 (3), 565–589.
- Aggarwal, A., Upadhyay, R., 2013. Stress, heat productivity, animal, in: *Stress, Heat Productivity, Animal*. Springer-Verlag, pp. 1–25.
- Ahmad Para, I., Ahmad Dar, P., Ahmad Malla, B., Punetha, M., Rautela, A., Maqbool, I., Mohd, A., Ahmad Shah, M., Ahmad War, Z., Ishaq, R., Akram Malla, W., Ahmad Sheikh, A., Rayees, M., 2018. Impact of heat stress on the reproduction of farm animals and strategies to ameliorate it. *Biol. Rhythm Res.* 51, 616–632. <https://doi.org/10.1080/09291016.2018.1548870>
- Améndola, L., Solorio, F.J., Ku-Vera, J.C., Améndola-Massioti, R.D., Zarza, H., Mancera, K.F., Galindo, F., 2019. A pilot study on the foraging behaviour of heifers in intensive silvopastoral and monoculture systems in the tropics. *Animal* 13, 606–616.

<https://doi.org/10.1017/S1751731118001532>

Arias, R.A., Mader, T.L., Escobar, P.C., 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. Arch. Med. Vet. 40, 7-22.

Armstrong, D. V., 1994. Heat Stress Interaction with Shade and Cooling. J. Dairy Sci. 77, 2044–2050.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6)

Barman, R.S.D., Chaudhary, M.K., Anjay, R.K., Jha, D.K., 2017. Growth performance and feed intake of buffalo calf under different shade materials during summer season. Int. J. Environ. Sci. Te. 6, 640 – 649

Bellagi, R., Martin, B., Chassaing, C., Najar, T., Pomiès, D., 2017. Evaluation of heat stress on Tarentaise and Holstein cow performance in the Mediterranean climate. Int. J. Biometeorol. 61, 1371–1379. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1314-4>

Berdugo-Gutiérrez J, Mota-Rojas D, Napolitano F, Nava J, Ruíz.Buitrago JD, González-López C, Guerrero-Legarreta I., 2019. Heat stress in river buffalo. Revista Entorno Ganadero, México 15,26-36.

Bertoni, A., Mota-Rojas, D., Alvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta I., Morales-Canela, A., Gómez-Prado, J., Jose-Pérez N., Martínez-Burnes, J. 2019. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. J. Anim. Behav. Biometeorol. 8, 288-297

- Brown, E.J., Vosloo, A., 2017. The involvement of the hypothalamo-pituitary-adrenocortical axis in stress physiology and its significance in the assessment of animal welfare in cattle. *Onderstepoort J. Vet. Res.* 84, 1–10. <https://doi.org/10.4102/ojvr.v84i1.1398>
- Chen, J., Guo, K., Song, X., Lan, L., Liu, S., Hu, R., Luo, J., 2020. The anti-heat stress effects of Chinese herbal medicine prescriptions and rumen-protected γ -aminobutyric acid on growth performance, apparent nutrient digestibility, and health status in beef cattle. *Anim. Sci. J.* 91, e13361. <https://doi.org/10.1111/asj.13361>
- Cooke, R.F., Daigle, C.L., Moriel, P., Smith, S.B., Tedeschi, L.O., Vendramini, J.M.B., 2020. Cattle adapted to tropical and subtropical environments: social, nutritional, and carcass quality considerations. *J. Anim. Sci.* 98. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa014>
- De Rensis, F., Scaramuzzi, R. J., 2003. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—a review. *Theriogenology* 60, 1139-1151.
- Dikmen, S., Hansen, P.J., 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *J. Dairy Sci.* 92, 109-116.
- Foust, A.M., Headlee, W.L., 2017. Modeling shade tree use by beef cattle as a function of black globe temperature and time of

- day. Int. J. Biometeorol. 61, 2217–2227.
<https://doi.org/10.1007/s00484-017-1429-7>
- Glauber C.E.; Ghezzi M.D.; 2015. Bienestar animal en rodeos bovinos lecheros: Reflexiones y producción lechera. Vet. Arg. – 32, 329.
- Giro, A., Pezzopane, J.R.M., Barioni Junior, W., Pedroso, A. de F., Lemes, A.P., Botta, D., Romanello, N., Barreto, A. do N., Garcia, A.R., 2019. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. Sci. Total Environ. 684, 587–596.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.377>
- Gu, Z., Yang, S., Leng, J., Xu, S., Tang, S., Liu, C., Gao, Y., Mao, H., 2016. Impacts of shade on physiological and behavioural pattern of Dehong buffalo calves under high temperature. Appl. Anim. Behav. Sci. 177, 1-5.
- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. 2019. El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales. Segunda edición. México, Editorial BM Editores. Ciudad de México. p.p. 1-881.
<https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>
- Huber, E., Notaro, U.S., Recce, S., Rodríguez, F.M., Ortega, H.H., Salvetti, N.R., Rey, F., 2020. Fetal programming in dairy cows: Effect of heat stress on progeny fertility and associations with the hypothalamic-pituitary-adrenal axis functions. Anim.

Reprod. Sci. 216, 106348.

<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106348>

Johnson HD. 1980. Manejo ambiental del ganado para minimizar el estrés de los cambios climáticos. Ent. J. Biometeor. 24 (7): 65–78.

Kamal, R., Dutt, T., Patel, M., Dey, A., Chandran, P.C., Bharti, P.K., Barari, S.K., 2016. Behavioural, biochemical and hormonal responses of heat-stressed crossbred calves to different shade materials. J. Appl. Anim. Res. 44, 347–354. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1074076>

Khongdee, T., 2016. Effects of roof modifications on growth performance and physiological changes of crossbred beef heifers (*Bos indicus*). Songklanakarin J. Sci. Technol. 38,3-25. Khongdee, T., Sripoon, S., & Vajrabukka, C., 2013. The effects of high temperature and roof modification on physiological responses of swamp buffalo (*Bubalus bubalis*) in the tropics. Int. J. Biometeorol. 57, 349-354

Koch, F., Thom, U., Albrecht, E., Weikard, R., Nolte, W., Kuhla, B., Kuehn, C., 2019. Heat stress directly impairs gut integrity and recruits distinct immune cell populations into the bovine intestine. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 116, 10333–10338. <https://doi.org/10.1073/pnas.1820130116>

Kovács, L., Kézér, F.L., Bakony, M., Jurkovich, V., Szenci, O., 2018. Lying down frequency as a discomfort index in heat stressed Holstein

- bull calves. *Sci. Rep.* 8, 1–5. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33451-6>
- Le Fevre, M., Matheny, J., Kolt, G.S., 2003. Eustress, distress, and interpretation in occupational stress. *J. Manag. Psychol.* 18, 726–744. <https://doi.org/10.1108/02683940310502412>
- Lendez, P. A., Nieto Farias, M. V., Martínez Cuesta, L., Vater, A. A., Ghezzi, M. D., Mota-Rojas, D., Dolcini, G.L. & Ceriani, M.C., 2020. Heat stress: its effect on the immune status of dairy cows. *Rev. Med. Vet. (En línea)* 101 (3), 7-13. Disponible en: [http://www.someve.com.ar/images/revista/2020/Vol101\(3\)/Pag-7-13-Lendez.pdf](http://www.someve.com.ar/images/revista/2020/Vol101(3)/Pag-7-13-Lendez.pdf)
- Lendez, P. A., Martinez Cuesta L., Nieto Farias M.V., Vater A.A., Ghezzi M.D., Mota-Rojas D., Dolcini G. L., Ceriani M.C., 2021. Alterations in TNF- α and its receptors expressions in the cows undergoing heat stress. *Vet. Immunol. Immunopathol.* <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2021.110232>
- Llamas Luceño, N., de Souza Ramos Angrimani, D., de Cássia Bicudo, L., Szymańska, K.J., Van Poucke, M., Demeyere, K., Meyer, E., Peelman, L., Mullaart, E., Broekhuijse, M.L.W.J., Van Soom, A., 2020. Exposing dairy bulls to high temperature-humidity index during spermatogenesis compromises subsequent embryo development in vitro. *Theriogenology* 141, 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.08.034>
- Lopes, L.B., Eckstein, C., Santos Pina, D., Carnevalli, R.A., 2016. The

- influence of trees on the thermal environment and behaviour of grazing heifers in Brazilian Midwest. *Trop Anim Heal. Prod* 48, 755–761. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1021-x>
- Manteca, X., Mainau, E., Temple, D., 2013. 'Stress in farm animals and effect on performance.' *Farm Anim. Fact Welf. Sheet* 6, 1–2.
- Marai, I.F.M., Habeeb, Alsaied A.M., 2010a. Buffalo's biological functions as affected by heat stress — A review. *Livest. Sci.* 127, 89-94.
- Marai, I.F., Habeeb, A.A.M., 2010b. Buffaloes'reproductive and productive traits as affected by heat stress. *Trop. Subtrop. Agroecosystems.* 12, 193-217.
- Martínez G, Suárez VH, Ghezzi MD. 2016. Impacto de la relación humano-animal en la productividad y el bienestar animal de los rodeos lecheros. *Rev. Argentina de Prod. Anim.* 36 (2): 75-82.
- Martínez G.M., Demateis Lera F., Otero A., López Seco E., 2019. Impacto del estrés por calor en terneros de tambo sobre parámetros fisiológicos y conductuales. *Revista FAVE Sección Veterinaria* - En prensa.
- Mitlohner, F.M., Galyean, M.L., Mcglone, J..J. 2002. Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers, *Anim. Sci. J.* 80, 2043-2050
- Mohankumar, S.M.J., Balasubramanian, P., Dharmaraj, M., Mohankumar, P.S., 2012. Neuroendocrine regulation of adaptive mechanisms in livestock, in: *Environmental Stress and*

Amelioration in Livestock Production. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 263–298. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29205-7_11

Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J. A., Mota-Rojas, D., Ruiz-Buitrago, J. D., Nava-Adame, J., & Guerrero-Legarreta, I., 2018. Behaviour and welfare of dairy buffaloes: Pasture or confinement?. J. Buffalo Sci. 7, 43-48.

Morrison, S.F., 2011. 2010 Carl Ludwig Distinguished Lectureship of the APS Neural Control and Autonomic Regulation Section: Central neural pathways for thermoregulatory cold defense. J. Appl. Physiol. 110, 1137–1149. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01227.2010>

Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., 2019a. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. (UK). <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>

Mota-Rojas, D. Napolitano, F., Sarubbi, J., Braghieri, A., Martínez-Burnes, J., Bertoni, A., Ghezzi, D. et al. 2019b. Capítulo 16. Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja” en Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 512-538), Segunda edición. México, BM Editores. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

- Mota-Rojas, D., Ghezzi, M.D.; Sarubbi, J., Napolitano, F., José-Pérez, N., Braghieri, A., Martínez, G.M.; Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I., Barrios, H., Martínez-Burnes, J. 2019c. Capítulo 17. Importancia de la sombra natural o artificial y su efecto en los indicadores fisiológicos y de comportamiento en el búfalo de agua, bovino europeo y bovino índico. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 539-581), Segunda edición. México, BM Editores. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>
- Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A., Martínez-Burnes, J., Álvarez-Macías, A., Orihuela, A., 2020a. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. J. Anim. Behav. Biometeorol. 9,2103. <https://doi.org/10.31893/jabb.21003>
- Mota-Rojas, D., Olmos-Hernández, A., Verduzco-Mendoza, A., Lecona-Butrón, H., Martínez-Burnes, J., Mora-Medina, P., Gómez-Prado, P.J., Orihuela, A., 2020b. Infrared thermal imaging associated with pain in laboratory animals. Experimental Animals 70, 1-12. doi: 10.1538/expanim.20-0052
- Morrell, J.M., 2020. Heat stress and bull fertility. Theriogenology 153, 62–67. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.014>
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Bernabucci, U., 2006. Efectos

- climáticos sobre los rasgos productivos en el ganado. *Vet. Res. Comun.* 30 (1), 75–81.
- Narwaria, U.S., Singh, M., Verma, K.K., Bharti, P.K., 2017. Amelioration of Thermal Stress using Modified Roof in Dairy Animals under Tropics: A Review. *J. Anim. Res.* 7, 801. <https://doi.org/10.5958/2277-940x.2017.00124.3>
- Nidumolu, U., Crimp, S., Gobbett, D., Laing, A., Howden, M., Little, S., 2010. Heat stress in dairy cattle in northern Victoria : responses to a changing climate, CSIRO Climate Adaptation Flagship Working Paper 10. CSIRO Climate Adaptation Flagship Working paper.
- Paciullo, D.S.C., de Castro, C.R.T., Gomide, C.A. de M., Maurício, R.M., Pires, M. de F.Á., Müller, M.D., Xavier, D.F., 2011. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livest. Sci.* 141, 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.05.012>
- Pinto, S., Hoffmann, G., Ammon, C., Amon, B., Heuwieser, W., Halachmi, I., Banhazi, T., Amon, T., 2019. Influence of Barn Climate, Body Postures and Milk Yield on the Respiration Rate of Dairy Cows. *Ann. Anim. Sci.* 19, 469–481. <https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0006>
- Roth, Z. 2020. Reproductive physiology and endocrinology responses of cows exposed to environmental heat stress-Experiences from the past and lessons for the present. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.040>

- Rovira, P., Velazco, J., 2010. The effect of artificial or natural shade on respiration rate, behaviour and performance of grazing steers. *New Zeal. J. Agric. Res.* 53, 347–353. <https://doi.org/10.1080/00288233.2010.525785>
- Rovira, P.J., Velazco, J., I., 2007. Sombra: Buena para el ganado, mejor para el productor. Engorde de novillos durante el verano. *Rev. INIA* 13, 2–5.
- Rovira, P., Velazco, J., 2010. The effect of artificial or natural shade on respiration rate, behaviour and performance of grazing steers. *New Zeal. J. Agric. Res.* 53, 347–353. <https://doi.org/10.1080/00288233.2010.525785>
- Schüller, L.K., Burfeind, O., Heuwieser, W., 2016. Effect of short- and long-term heat stress on the conception risk of dairy cows under natural service and artificial insemination breeding programs. *J. Dairy Sci.* 99, 2996–3002. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10080>
- Silanikove, N., 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.* [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7)
- Sivakumar, T., Suraj, P.T., Yasotha, A., Phukon, J., 2017. Identification of suitable housing system for dairy cattle in North East Zone of Tamil Nadu, India, with respect to microclimate. *Vet. World* 10, 1–5. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1-5>
- St-Pierre, N.R., Cobanov, B., Schnitkey, G., 2003. Economic Losses from

- Heat Stress by US Livestock Industries. *J. Dairy Sci.* 86, E52–E77.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5)
- Sugenoya, J., Iwase, S., Mano, T., Sugiyama, Y., Ogawa, T., Nishiyama, T., Nishimura, N., Kimura, T., 1998. Vasodilator component in sympathetic nerve activity destined for the skin of the dorsal foot of mildly heated humans. *J. Physiol.* 507, 603–610.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1998.603bt.x>
- Tao, S., Dahl, G.E., Laporta, J., Bernard, J.K., Orellana Rivas, R.M., Marins, T.N., 2019. PHYSIOLOGY SYMPOSIUM: Effects of heat stress during late gestation on the dam and its calf¹². *J. Anim. Sci.* 97, 2245–2257. <https://doi.org/10.1093/jas/skz061>
- Theurer, M.E., Anderson, D.E., White, B.J., Miesner, M.D., Larson, R.L., 2014. Efectos de las variables climáticas sobre la termorregulación de los terneros durante períodos de calor extremo. *A.m. J. Vet. Res.* 75, 296–300.
- Tortora, D., Derrickson, B., 2010. Principios de anatomía y fisiología, in: *Principios de Anatomía y Fisiología*. Editorial panamericana, España, pp. 704–706.
- Valadez-Noriega, M., Méndez-Gómez-Humarán, M.C., Rayas-Amor, A.A., Sosa-Ferreya, C.F., Galindo, F.M., Miranda-De la Lama, G.C., 2020. Effects of greenhouse roofs on thermal comfort, behavior, health, and finishing performance of commercial zebu steers in cold arid environments. *J. Vet. Behav.* 35, 54–61.
<https://doi.org/10.1016/j.jveb.2019.10.012>

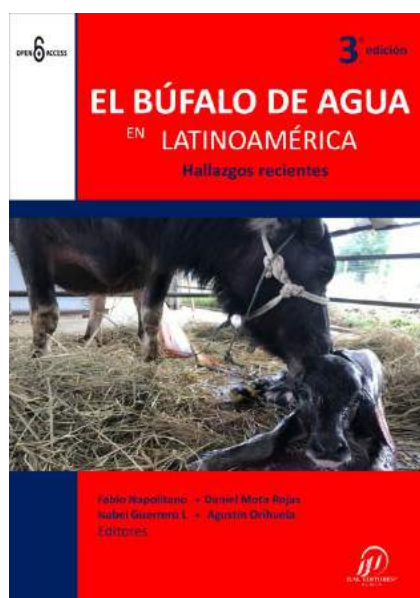
- Veissier, I., Van laer, E., Palme, R., Moons, C.P.H., Ampe, B., Sonck, B., Andanson, S., Tuytens, F.A.M., 2018. Heat stress in cows at pasture and benefit of shade in a temperate climate region. *Int. J. Biometeorol.* 62, 585–595. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1468-0>
- Vizzotto, E.F., Fischer, V., Thaler Neto, A., Abreu, A.S., Stumpf, M.T., Werncke, D., Schmidt, F.A., McManus, C.M., 2015. Access to shade changes behavioral and physiological attributes of dairy cows during the hot season in the subtropics. *Animal* 9, 1559–1566. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000877>
- Wolfenson, D., Thatcher, W.W., Badinga, L., Savi0, J.D., Meidan, R., Lew, B.J., Braw-tal, R., Berman, A., 1995. Effect of Heat Stress on Follicular Development during the Estrous Cycle in Lactating Dairy Cattle1. *Biol. Reprod.* 52, 1106–1113. <https://doi.org/10.1095/biolreprod52.5.1106>
- Zicarelli, L., 2016. Estacionalidad Reproductiva en Búfalas. In: Crudeli, G. et al. (comp.), *Reproducción en Búfalas*. 1st ed. Argentina: Ediciones Moglia 2016; pp. 73-94.



CAPÍTULO 24

INTERFLUJOS ENTRE LA GANADERÍA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO: UNA EXPLORACIÓN DOCUMENTAL

Daniel Mota-Rojas, Adolfo Álvarez-Macías; Fabio Napolitano, Patricia Mora-Medina, Emilio Sabia, Efrén Ramírez-Briebesca, Marcelo Daniel Ghezzi, Aldo Bertoni, Fabiola Torres-Bernal,
P. Ravi Kanth Reddy



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 24

Interflujos entre la ganadería y el cambio climático: una exploración documental

Daniel Mota-Rojas¹, Adolfo Álvarez-Macías¹; Fabio Napolitano², Patricia Mora-Medina³, Emilio Sabia⁴, Efrén Ramírez-Briebesca⁵, Marcelo Daniel Ghezzi⁶, Aldo Bertoni¹, Fabiola Torres-Bernal¹, P. Ravi Kanth Reddy⁷

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.

²Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

³Departamento de Ciencias Pecuarias, FESC. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

⁴Especialista en sistemas de cría e impacto ambiental. Free University of Bolzano. Italia.

⁵Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.

⁶Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

⁷Animal Husbandry Department, Veterinary Dispensary, Taticherla, Prakasam District, Andhra Pradesh, India.

Introducción

Las actividades ganaderas en el mundo se encuentran en una encrucijada, pues mantienen el reto de seguir aumentando la oferta de alimentos, dado que en el presente siglo la población mundial mantiene su tasa de crecimiento con un promedio anual de 1.14 %, llegando en 2019 a 7673.34 millones de habitantes (UN, 2020), de los cuales 690 millones de personas (9%) padecen hambre (FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO, 2020). Es decir, el sector pecuario mantiene el reto de aumentar su eficiencia, ofreciendo mayor volumen de productos a precios accesibles, sin embargo, debe disminuir la huella ecológica que a la fecha se le atribuye el segundo lugar de

contribución a la generación del cambio climático (CC) y que en el futuro se puede develar insostenible.

En este contexto y durante lo que va de este siglo, la ganadería ha tenido que incrementar su capacidad de respuesta, ya que por citar algunos ejemplos, la producción de carne ha progresado de manera considerable al pasar de 233.4 millones de toneladas en el año 2000 a 342.4 millones de toneladas en 2018, es decir, un aumento de 46.7 por ciento en 18 años. Un desempeño similar se detecta en los registros de la producción de leche, que avanzó de 579.5 a 843 millones de toneladas en el mismo lapso, es decir, un incremento del 45.5 por ciento. Estos importantes incrementos en la producción se han obtenido gracias a la incorporación de tecnología y a la intensificación de los sistemas productivos, especialmente en los destinados a la obtención de carne (de cerdo, aves y vacuno, que suman alrededor del 90 por ciento de la oferta mundial), de leche y huevo (FAO, 2020a). En 2015, los 193 Estados Miembros de las Naciones Unidas adoptaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se espera que oriente las acciones de desarrollo de los gobiernos, las agencias internacionales, la sociedad civil y otras instituciones durante los próximos 15 años (2016-2030). La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas se han convertido en los objetivos de desarrollo universalmente respaldados, aceptados y aplicables a todos los países. Integran las tres dimensiones del desarrollo sostenible - económica, social y medioambiental - dependen mutuamente y forman un "todo indivisible". Las principales contribuciones potenciales de la ganadería,

tanto positivas como negativas, al logro de los ODS pertenecen a los siguientes tres ámbitos principales: 1) seguridad alimentaria y medios de vida 2) salud humana (enfermedades transmisibles y no transmisibles) y 3) sostenibilidad de los ecosistemas y cambio climático. Se practican diferentes formas de producción ganadera en todo el mundo, cada una con su perfil de impacto específico en los tres dominios (Chará et al., 2019). Sin embargo, junto con los avances en la producción agropecuaria, la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) como consecuencia de la fermentación entérica, debida primordialmente por los rumiantes, alcanzó en 2017 las 2,100.1 millones de toneladas de GEI, que equivalen al 39 por ciento del total del sector agropecuario, que correspondieron a un 16 por ciento adicional de los volúmenes registrados en el año 2000 (FAO, 2020b). A nivel mundial, la ganadería produce cerca del 18% de las emisiones totales de GEI medidas en términos de CO₂ equivalente y como se observa en la figura 1, las regiones que más aportan a las emisiones de GEI son Asia y Latinoamérica (FAO, 2019).

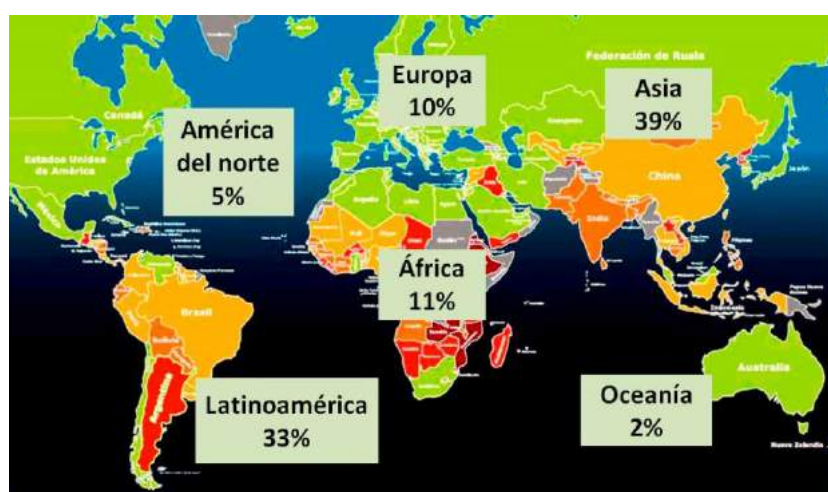


Figura 1. Proporción regional de las emisiones totales de GEI de la producción de carne. Modificado de FAO (2017).

La ganadería se describe como uno de los principales factores responsables del CC (Gerber et al., 2013), aunque ahora hay pruebas que refutan varias de estas afirmaciones, esta y otras publicaciones generaron tal grado de incomodidad con sus afirmaciones, que alentaron la investigación científica del tema y los esfuerzos para refutar sus conclusiones (Glatzle, 2014; Gerber et al., 2014). Uno de los problemas hallados es que los datos a menudo se refieren a un solo sistema y esto puede ser engañoso (Tarazona et al., 2020). Steinfeld et al. (2006) y muchas otras publicaciones utilizaron principalmente datos del sistema de feed lot (engorde a corral) para referirse a los impactos en el CC y la sustentabilidad del ambiente provocada por la producción de carne. La producción de carne realizada en el sistema feed lot es perjudicial para la conservación y el uso de agua, provoca mayor emisión de GEI, que los sistemas extensivos de engorde a pasto, con pasturas fertilizadas y con sistemas semiintensivos silvopastoriles. Esta la última es una forma de agrosilvicultura, que típicamente integra la producción de plantas en tres niveles, incluyendo pastos mejorados, arbustos forrajeros de alta densidad con hojas comestibles y árboles maderables, frutales o palmeras, que también pueden tener hojas comestibles (Tarazona et al., 2017). El ganado bovino es el que más contribuye a las emisiones de GEI de la producción ganadera con aproximadamente 4,6 gigatoneladas de CO₂-eq, lo que constituyen el 65% del total. Las aves de corral, los cerdos, los pequeños rumiantes y los búfalos tienen niveles de emisión más bajos, y cada uno contribuye

entre el 7 y el 10% de las emisiones de GEI. Se debe considerar también que las emisiones GEI de los rumiantes silvestres pueden ser incluso ser más altas que las de los rumiantes domésticos porque han sido seleccionados durante generaciones por su eficiencia (Sarkwa et al., 2016). Además, la ganadería está incidiendo en el CC por las descargas de heces que contaminan a los integrantes del ambiente, tales como la atmósfera, los suelos y fuentes de agua. También genera otros efectos indirectos, al incidir en la deforestación de amplias superficies en aras de transformarlas en áreas de pastoreo y con cultivos forrajeros, como la soya transgénica y su dependencia del glifosato, herbicida con amplias repercusiones sobre los suelos, así como sobre la biodiversidad vegetal y animal, entre otros efectos (Hegland et al., 2009; Rivera y Ortiz, 2017).

En contraste, el CC obstruye cada vez más en el desarrollo ganadero, dado que el aumento de la temperatura, el cambio de las corrientes de vientos y la alteración de los ciclos hidrológicos condicionan la producción de forrajes, la disponibilidad de agua, el desarrollo de los semovientes, la proliferación de las enfermedades del ganado, la biodiversidad e, incluso, los mecanismos de distribución de alimentos, entre otras secuelas (Rojas-Dowing et al., 2017; Mora-Medina et al., 2019).

El término de *Cambio Climático* (CC) fue adoptado por la Convención de las Naciones Unidas como la modificación de las variables del clima (temperatura, precipitaciones y vientos, entre otros), provocados directa o indirectamente por la liberación de los GEI procedentes de

las actividades antropogénicas (UN, 1992). Esta teoría que defiende que el cambio climático se debe a causas antropogénicas basada en los intercambios de energía calorífica sol-tierra, recibe el nombre de “calentamiento global por efecto invernadero”, y está apoyada por organismos internacionales como la UN (IPCC, 2019). Sin embargo, no hay demasiadas revisiones sistemáticas mundiales sobre cómo el sector ganadero se ve afectado y se adapta al cambio climático. Algunas revisiones han documentado los impactos del cambio climático en la productividad del ganado (Herrero et al., 2015; Nardone et al., 2010; Rojas-Downing et al., 2017) y en los medios de vida de las personas en las regiones en desarrollo (Rust y Rust, 2013; Thornton et al. 2009; Herrero et al., 2016). Investigaciones previas también han estudiado el impacto del ganado sobre el cambio climático, considerando las frecuencias más altas de fenómenos meteorológicos extremos, como las sequías (Leister et al., 2015), inundaciones y olas de calor (Morignat et al., 2014), así como variaciones en las precipitaciones y la temperatura (Polley et al., 2013).

En el Protocolo de Kioto del año (1997), se enlistó como GEI a los siguientes: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), hidrocarburos perfluorados (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), aunque existen otros gases contaminantes, se han catalogado como menos relevantes (Espíndola y Valderrama, 2012).

En este marco, el objetivo de la presente revisión bibliográfica consistió en examinar las principales repercusiones de la ganadería sobre el CC, qué desafíos plantea el CC al desarrollo ganadero, así como las estrategias que se han formulado para favorecer la adaptación de la ganadería al CC y las estrategias que pueden mitigar sus efectos negativos sobre el planeta. Dichas temáticas guiaron la revisión bibliográfica en que se sustenta este escrito, priorizando documentos científicos e informes de organismos internacionales, enfatizando en los más actuales.

RETOS Y CONTRIBUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN PECUARIA MUNDIAL

Se espera que la población mundial aumente en 2.000 millones de personas en los próximos 30 años, pasando de los casi 7.700 millones actuales a 9.700 millones en 2050, pudiendo llegar a un pico de cerca de 11.000 millones para 2100¹, lo que implicaría también enormes esfuerzos productivos para cubrir la demanda de los alimentos que este fenómeno desencadenaría principalmente en los de origen animal. De hecho, los productos pecuarios registran una importante contribución para la seguridad alimentaria mundial, dado que contribuyen significativamente al consumo mundial de kilocalorías (17%) y con el 33% de proteína. Además, la actividad pecuaria aporta a los medios de subsistencia de mil millones de individuos de la población más pobre del mundo y brindan empleo a cerca de 1.100 millones de personas (FAO, 2020a). De esta manera, persiste la

¹ <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>

creciente demanda de productos pecuarios, y su rápido crecimiento en los países en desarrollo, lo que forma parte de la denominada *revolución ganadera* (Rojas-Downing et al., 2017).

En este sentido, la FAOSTAT (Base de datos estadísticos corporativos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO por sus siglas en inglés) reportó que en 2018 había 1.900 millones de unidades de ganado (UGM) en el mundo, que comprendían 965 millones de ganado vacuno; 242 millones de cerdos; 237 millones de aves; 226 millones de ovejas y cabras. Cabe destacar que desde 1990, las existencias de ganado vacuno, búfalos, ovejas, cabras y cerdos han aumentado en un 16%, mientras que el número de pollos se ha duplicado (FAO, 2020a). Sin embargo, aun con este inventario ganadero, se ha observado una insuficiente capacidad de las actividades pecuarias para satisfacer la demanda potencial de alimentos en el mundo.

Al respecto, en julio de 2020 la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), publicaron las perspectivas alimentarias para el período 2020-2029, valorando que la producción ganadera mundial podría crecer en un 14%, gracias a que han proyectado que los precios de los piensos y de productos finales tendrán un comportamiento estable. La carne de ave de corral seguiría destacando como el producto con mayor crecimiento y representaría aproximadamente la mitad del incremento previsto en la producción

total de carne, debido a sus ganancias en productividad que han venido generando un puñado de empresas en el mundo.

En síntesis, la ganadería ha demostrado capacidad para seguir creciendo y tendría que hacerlo a tasas mayores para cubrir una demanda creciente, pero al menos con dos restricciones mayores: 1) incrementar rendimientos sin aumentar la huella ambiental; 2) que su desarrollo va a estar condicionado por un contexto climático progresivamente más adverso.

CONTRASTES DE LOS MODELOS DE PRODUCCIÓN PECUARIA

Los sistemas de producción se organizan en una gran gama de combinaciones de recursos, entre los que destacan: tierra, animales, capital (que incluye tecnología) hasta las formas de gestión, siempre condicionados por el entorno a través de las variables climáticas, pasando por el desempeño de mercados de insumos y productos, como de políticas oficiales, entre otros factores. Reconociendo las dinámicas tan variadas que se pueden observar, a continuación, se proponen elementos de un análisis contrastando entre dos tipos de modelos productivos extremos, que se han observado en diferentes latitudes y que se proponen a partir de variables que interesan en el presente análisis.

En el Cuadro 1 se observa, por un lado, los sistemas intensivos (SI) en gran escala que predominan en bovinos carne y leche especializados, porcinos y aves principalmente. Por otro lado, se ubicaron los sistemas familiares, extensivos o de traspatio (SFET), con propósitos múltiples, regidos más por las necesidades inmediatas de las familias productoras que por optimizar su eficiencia y rentabilidad. En los primeros predominan superficies amplias, con una parte para producción de forraje y otra para las instalaciones, que suelen tener condiciones controladas para los animales en cuanto a temperatura, humedad y limpieza; una parte de estas unidades productivas suelen utilizar terrenos exigüos, por estar en naves prácticamente industriales, como es común en los sistemas especializados de aves y porcinos. En contraparte, las unidades familiares tienden a disponer de superficies reducidas, donde se combinan la agricultura y ganadería y algunas tierras de agostadero de mediana a baja calidad. Por ende, las instalaciones y equipos suelen ser los básicos, a menudo fabricados con los recursos de los productores y, por lo general, con muchos años en funcionamiento (Hoffmann, 2010).

Si bien el SI o industrial es minoritario en cuanto a la extensión, ofrece cifras de producción e impacto, tanto en el medio productivo como en toda la cadena agroalimentaria, que le conceden un valor primordial. El ganado se encuentra confinado bajo condiciones ambientales extremas. Además, los animales son seleccionados y modificados genéticamente para obtener mayor productividad. Es decir, la

producción se halla adaptada a las exigencias del mercado y es mucho más rentable que el modelo extensivo debido a la explotación intensiva del territorio. Sin embargo, el consumo de recursos es desproporcionado al tener que contar con insumos especiales y desde el punto de vista ambiental, el modelo industrial es extremadamente contaminante debido a que concentra una gran cantidad de animales en un espacio reducido de terreno (Genis Godino, 2020).

En los SI priman los conocimientos especializados, con fundamento científico y razas reconocidas internacionalmente, mientras que en los SFET, se basan en conocimientos tradicionales, derivados de las experiencias propias y de sus ancestros, con razas locales, que generalmente favorecen la flexibilidad productiva y, por ende, pueden orientarse a varios propósitos, principalmente cría, carne y leche a la vez. Por tanto, en los SI se suelen registrar altos niveles de inversión por unidad animal (UA) y productividades también elevadas que contrastan con los de los SFET. En los SI generalmente se cuenta con dietas balanceadas, de precisión para optimizar el rendimiento animal mientras que en los SFET se aprovechan residuos agrícolas y agroindustriales, más orientados a mantener al ganado que a favorecer su máximo rendimiento. Las discordancias también se aprecian en el manejo sanitario y de la bioseguridad, ya que en los más intensivos se invierte en manejos integrales y preventivos, con medidas de bioseguridad crecientes, sobre todo cuando sus productos se dirigen a mercados especializados y/o de exportación. Por su parte,

en los familiares se suele intervenir para remediar malestares, enfermedades o los bajos rendimientos e impactos, mientras que las medidas de bioseguridad están limitadas o ausentes (Hoffmann, 2010; Bertoni et al., 2020).

Lo anterior permite comprender los niveles de degradación y/o contaminación del suelo, de la vegetación y atmósfera que se provocan en ambos casos, destacando por el lado de los intensivos su alto impacto, dado el elevado nivel de insumos que absorbe, especialmente de agua y alimento animal, así como la enorme descarga que propician, como se detallará en apartados ulteriores. Las unidades familiares suelen generar impactos moderados, por su pequeña escala, así como por la baja dosis de insumos por unidad animal, aunque se han distinguido por su escasa capacidad para regenerar recursos, especialmente en sistemas extensivos y en zonas áridas y semiáridas, en donde predominan áreas con escasa densidad de vegetación.

Cuadro 1. Comparación interesada de los sistemas de producción pecuaria intensiva y familiar en pequeña escala

Definición de las características	En gran escala, intensivo, una parte sin tierra	Pequeño productor, asociación de cultivos y ganado o pastoreo
Uso de insumos externos	Alto	Bajo
Tipo de conocimiento	Científico, global	Tradicional, local
Especie	Cerdos, pollos, vacas lecheras y de carne, pavos; ovejas en menor medida	Local, tradicional con especies y razas variadas, a menudo combinadas en las operaciones de las unidades productivas
Productos y servicios	Leche, carne, huevos, pío de cría y, en menor medida, pieles	Leche, carne, huevos, lana y fibra, pieles y cueros, tiro, energía y transporte, combustible, estiércol el suelo, Servicios socioculturales. Seguros y función de bienes, dote, ceremonias religiosas, gestión de riesgos, fines medicinales, patrimonio, deportes y entretenimiento, medios de vida Servicio ambiental: conversión de desechos y uso de subproductos de cultivos, malezas y control de arbustos y manejo de incendios, dispersión de semillas, mantenimiento de los paisajes culturales
Razas	Razas definidas internacionalmente, estructurada y de alta tecnología, programas de cría	Local, con sistemas de cría tradicionales
Entornos	A menudo protegido (calefacción, refrigeración, aire filtrado, música)	Desprotegidos (pastoreo abierto, acopio de residuos agrícolas e industriales)
Inversión por UA	Alta	Baja
Productividad	Alto rendimiento de productos específicos del mercado en entornos ricos en nutrientes	Bajo rendimiento de los diversos productos y servicios, multifuncionalidad en entornos con escasez de nutrientes
Tipo de alimentación	Concentrados, cereales o forraje sembrado altamente digerible	Residuos de cultivos o plantas autóctonas, altamente heterogéneas. Comunidades con valor nutritivo variable
Suministro de alimento	Constante, adaptado a las necesidades fisiológicas actuales (alimentación de precisión)	Alta variabilidad estacional
Control de enfermedades y bioseguridad	Vacunación, profilaxis y tratamiento; alta bioseguridad	Escaso y remedial, en otros casos ausente
Impacto ambiental	Alto	Escasa regeneración de recursos

Fuente: adaptado de Hoffmann, (2010) y Bertoni et al. (2019).

Por las formas de producir, resulta evidente que los SI, a menudo con ambientes controlados, son menos sensibles a las temperaturas extremas, tormentas y vientos descontrolados que han derivado del cambio climático, aunque las descargas que provocan son altamente contaminantes. Como es lógico suponer, los sistemas familiares generalmente si padecen directamente estos efectos que suelen traducirse en reducidos niveles de confort animal y bajas productividades, lo que se puede acentuar con los crecientes efectos del CC.

EFFECTOS DE LA GANADERÍA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Se ha estimado que, del total de superficie dedicada a las actividades agropecuarias en el mundo, aproximadamente el 38,5% se dedica a productos agrícolas para alimentación humana, mientras que las de cultivo forrajero, praderas permanentes y pastos, representan el 68,4% del total (Kumari et al., 2019). En esa medida, los impactos de la ganadería destacan sobre los que provocan otras actividades del sector primario.

Las actividades pecuarias afectan las condiciones climáticas mediante la producción de forrajes y alimentos balanceados, la propia cría de animales, el estiércol y el procesamiento y transporte de insumos y productos. La producción de recursos forrajeros y el estiércol, figura 2, emiten CO₂, óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄), siendo este último el principal causante de la elevación de ozono en la tropósfera (O₃), que

a su vez es el tercer protagonista de los GEI. Entre los gases que se emiten en menor concentración, sin dejar de ser importantes, destacan el óxido nitroso (N_2O) y el carbón negro (hollín negro) (Hansen et al., 2007).

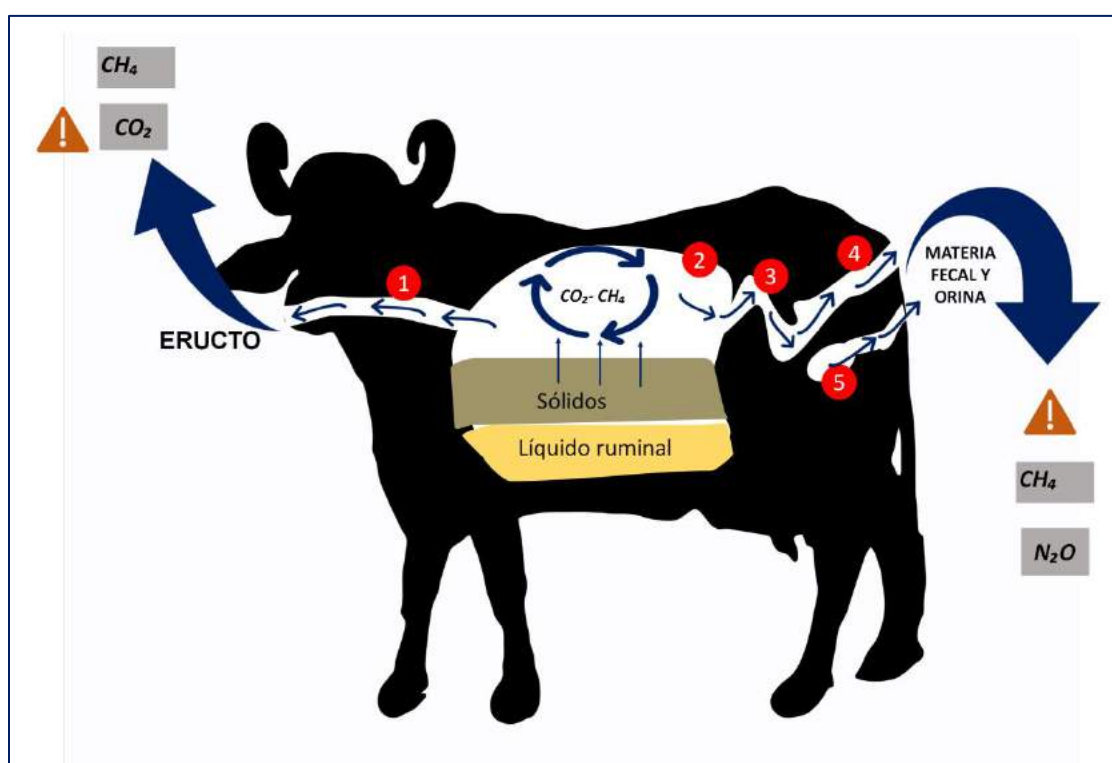


Figura 2. Esquematización de las emisiones de gases con efecto invernadero generados por los rumiantes. Se observa a grandes rasgos, las rutas de salida de los gases originados por la digestión en la primera porción del sistema digestivo. 1: Esófago, 2: Rúmen, 3: Intestino, 4: Recto, 5: Vejiga y conducto urinario. CO_2 : Dióxido de carbono, CH_4 : Metano y N_2O : Óxido nitroso.

Se calcula que el 23% del total de las emisiones antropogénicas anuales de GEI a nivel mundial (2007 a 2016) proviene de las actividades agropecuarias, la silvicultura y otros usos de la tierra (IPCC,

2019). En otro estudio se ha estimado que el ganado incide con el 14,5% del total de emisiones de GEI (Gerber et al., 2013).

De acuerdo a las proyecciones de producción agropecuaria, se ha previsto un crecimiento de las emisiones directas de GEI del 6% para 2030 en comparación con el nivel actual. La ganadería representaría el 80% de ese incremento. Geográficamente, se prevé que la mayor parte del aumento de las emisiones directas se originaría en las regiones emergentes y de ingresos bajos, debido a un mayor crecimiento de la producción derivada de los sistemas de productivos más contaminantes, dada la menor disponibilidad de tecnologías limpias y los bajos recursos financieros disponibles para implementarlas (OCDE-FAO, 2020).

Al respecto, un estudio muy ambicioso desde el punto de vista metodológico y que considera tanto la escala mundial como el conjunto de las cadenas de productos pecuarios, de Uwizeye et al. (2020), presenta resultados relevantes, algunos de los cuales se sintetizan en los siguientes párrafos. De manera general, muestran que las cadenas de suministro de ganado contribuyeron con alrededor de 65TgNyr-1 en el mundo y las emisiones de N inducidas por el hombre en 2010, fueron en forma de NO_3^- (29TgNyr-1), NH_3 (26TgNyr-1), NO_x (8TgNyr-1) y N_2O (2TgNyr-1). Estas emisiones representaron alrededor del 39% de las emisiones antropogénicas de NO_3^- liberados a las aguas superficiales y subterráneas, el 60% del total las emisiones de NH_3 , el 23% de las emisiones de NO_x y el 32% de las

emisiones de N_2O a nivel mundial. El grueso de las emisiones de N se origina en la producción de piensos y en el manejo del estiércol.

La producción del alimento animal libera alrededor de 44TgNyr-1, en particular a través del estiércol depositado en las áreas de pastizales, el esparcimiento del mismo y la aplicación de fertilizantes sintéticos en las tierras de cultivo. El manejo del estiércol en la producción animal es la segunda fuente principal de emisiones de N, con ~20TgNyr-1, el cual es perdido por volatilización, lixiviación de N y el que se utiliza para producir energía. Las emisiones de N derivadas del procesamiento industrial de alimentos de origen animal son reducidas comparativamente (~1TgNyr-1).

El sector pecuario también contribuye a los flujos mundiales de N a través de la aplicación de fertilizante de N sintético y estiércol en tierras de cultivo y pastizales, el manejo y acumulación de estiércol, y el transporte de productos ricos en N, como alimentos balanceados y alimentos. Estos desarrollos han cambiado el patrón de N atmosférico como el óxido nitroso (N_2O), un potente gas de efecto invernadero, así como el amoníaco (NH_3) y los óxidos de nitrógeno (NO_x), que contribuyen a la contaminación del aire y que plantean riesgos para la salud humana y propician procesos de eutrofización y acidificación. Las emisiones de nitratos (NO_3^-) y N orgánico, dos fuentes comunes de contaminación del agua y de pérdida biodiversidad, también han aumentado significativamente (Uwizeye et al., 2020).

La mayoría de las emisiones de N tienen lugar en las regiones del Asia meridional (23TgNyr-1), Asia oriental y sudoriental (18TgNyr-1) y

América Latina y el Caribe (7TgNyr-1), dado el alto inventario animal que se mantiene asociado y los sistemas de rumiantes en pastoreo como los de monogástricos en traspatio. En Asia meridional, las grandes poblaciones de búfalos y ganado vacuno convencional de baja productividad son responsables del 87% de las emisiones de N del ganado de la región. En la mayoría de los países de Asia Oriental, los altos niveles de NH_3 , N_2O y NO_3 - se explican por la concentración geográfica de animales en granjas de gran escala (cerdos, pollos y animales mixtos industriales, así como ganado lechero) y las unidades porcinas de traspatio que están vinculadas con la eliminación no regulada de estiércol y con altas niveles de utilización de fertilizantes sintéticos. Estos sistemas producen más estiércol del que se puede reciclar en el área agrícola circundante, además que se insume fertilizante sintético simultáneamente, lo que amplifica las altas emisiones de GEI por unidad de área (Uwizeye et al., 2020).

En América Latina, América del Norte y el Caribe, los sistemas de producción de ganado de carne y de productos lácteos con vacunos son responsables del 72% de las emisiones de N. En esta gran región, principalmente en América Latina y el Caribe, las elevadas emisiones de N por hectárea de tierra utilizada para la producción de piensos están relacionadas con las cadenas de suministro de cerdos y pollos de traspatio, que dependen principalmente de los desperdicios agrícolas y agroindustriales, así como de la búsqueda de alimento, ya que generalmente disponen de reducidas dimensiones de tierra (Uwizeye et al., 2020).

Finalmente, también es relevante considerar las emisiones de N incorporadas que proceden de la comercialización internacional de productos ganaderos (ya sea en forma de piensos comercializados o de alimentos de origen animal), que ascienden a $\sim 5.5 \text{ TgNyr}^{-1}$ (8% del total de las emisiones). Estas son impulsadas por el volumen de los productos básicos comercializados internacionalmente y las emisiones de N generadas por unidad de producto obtenida en los países exportadores. La mayoría de estas emisiones se producen en cinco países exportadores donde se obtienen los insumos para la alimentación animal, los cuales se han expandido gracias a la disponibilidad de tierra (aunque a menudo a costa de importantes áreas forestales y selváticas), de bajas demandas de fertilizantes sintéticos, mecanización y energía, que son: Estados Unidos (21%), Australia (13%), India (12%), Brasil (12%) y Argentina (7%) (Uwizeye et al., 2020).

Respecto a la expansión en las superficies de pastizales y las dedicadas a los cultivos forrajeros, que ocupan antiguas áreas de bosques y selvas, se han multiplicado por seis desde 1800 y abarcaron aproximadamente 35 millones de km^2 en el año 2000 (Rojas-Downing et al., 2017), lo que sin duda permite dimensionar las afectaciones expuestas previamente.

También O'Mara (2011) comparó la energía bruta derivada de la producción de leche y carne de rumiantes en el 2005, con la emisión de CH_4 por fermentación entérica y la dividió por regiones a nivel mundial. Observó que las regiones más eficientes, es decir, en donde

la energía bruta (46.3%) superó la emisión de metano (25.5%) fueron Europa Oriental y Occidental, América del Norte y la antigua Unión Soviética no europea. En contraste, las regiones menos eficientes fueron Asia, África y América Latina, donde ha sido mayor la emisión promedio de CH_4 (69%) que la energía bruta derivada de leche y carne de rumiantes (47.1%).

En ese contexto y estableciendo un inventario de GEI global en el sistema de producción en el estudio realizado por Sabia et al. (2018), se compararon los sistemas extensivos e intensivos de búfalos de agua. En ambos se evaluó la generación de metano entérico y se adicionaron todas las actividades conexas como electricidad, uso de combustible, producción de alimentos y manejo de estiércol, dando como resultado que los sistemas extensivos generaron 35.7% menos dióxido de carbono que los intensivos.

Cabe enfatizar en el descomunal aumento de los desechos de la ganadería, que han alterado los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno, carbono y fósforo, lo que se ha concatenado para agravar la crisis ambiental del planeta. Lo anterior se ha acentuado por la alta proporción de metano liberado a la atmósfera debido al mal manejo del estiércol. En este rubro, las excretas de los cerdos ocupan el primer lugar en emisiones de metano (8.38 millones de toneladas por año), seguidos de los bovinos (7.49 millones de toneladas por año), las aves de corral (0.97 millones de toneladas por año), los búfalos (0.34 millones de toneladas por año) y al final las cabras y ovejas (0.34 millones de toneladas por año) (FAO, 2006; O'Mara, 2011).

En cuanto a los residuos agropecuarios, la aplicación de ciertos niveles de estiércol en tierras de cultivo proporciona un beneficio ecológico al depositar nutrientes como nitrógeno y fósforo en el sustrato; el nitrógeno del estiércol se encuentra principalmente en forma de amoníaco y las plantas lo usan como uno de sus nutrientes predilectos (Miner et al., 2000). El problema es que los niveles de absorción de esos nutrientes por parte de los cultivos se han rebasado y están derivando en contaminación de los sustratos y, por ello, se acentúa su degradación por la acumulación de estiércol. Sí se mantiene la tendencia de acumular altas concentraciones de nutrientes (nitrógeno, fósforo) como de microorganismos patógenos (*E. coli*), antibióticos, y compuestos químicos que interactúan con el sistema endócrino (hormonas esteroidales, fitoestrógenos, plaguicidas y herbicidas) aumentará el daño al ser consumidos tanto por la población humana como por el inventario animal (Powers, 2009).

La sobrecarga de nutrientes en el suelo derivada de los sistemas pecuarios intensivos y extensivos también ocasiona su infiltración por escurrimiento y lixiviación que termina contaminando las aguas superficiales y subterráneas (Miner et al., 2000). Además, las excretas bovinas frescas esparcidas en áreas de cultivo contienen concentraciones de nitrógeno en forma de nitratos y nitritos y la acumulación de estos compuestos oxidados en el cultivo también tiene la capacidad de intoxicar al ganado (Nicholson et al., 2005).

Al respecto, se tiene el ejemplo de los desechos de la producción avícola y porcina que se aplican como fertilizantes del suelo o se

descargan en aguas superficiales (lagos, lagunas, humedales) como desecho, ya sea en zonas cercanas a las granjas e, incluso, a grandes distancias, lo que puede generar zonas acuáticas muertas (Silbergeld, 2019), ya que el exceso de abono en la superficie de estos cuerpos de agua genera vegetación acuática que colapsa la vida preexistente y, además, imposibilitan el aprovechamiento de este vital líquido.

En este mismo sentido, se ha estimado que las excretas en la producción avícola provocan un alto impacto ambiental, ya que contienen gran cantidad de nitrógeno derivado del alto contenido proteico de su dieta, saturando los procesos de nitrificación y desnitrificación (Von Bobrutzki et al., 2011). En este caso, las excretas avícolas, de forma similar que los residuos agrícolas incorporados como fertilizantes, elevan la concentración de las emisiones de amoníaco (NH_3), óxido nitroso (N_2O) y otros gases reactivos.

Por otro lado, no se puede obviar que la alta densidad de ganado por unidad de superficie también provoca la compactación del suelo que, por un lado, inhibe la circulación de agua y nutrientes, así como la recarga de los mantos freáticos y, por otro, dificulta la germinación y rebrote de los vegetales, especialmente de las plantas útiles, incluidas las mismas forrajeras. Asimismo, cuando los ganaderos no tienen la previsión de estimar adecuadamente las cargas animales es recurrente observar sobrecargas y se provoca la eliminación de la cobertura vegetal; dejando parte del suelo desnudo, por lo que se elevan los efectos erosivos por acción del viento y del agua. Estas repercusiones son visibles en todo tipo de ecosistemas, pero especialmente en las

zonas áridas y semiáridas donde la vegetación es exigua y los suelos altamente erosionables (De la Orden et al., 2005).

Una de las secuelas asociadas con concentraciones excesivas de nitrógeno es la contaminación del agua potable por nitratos y la eutrofización de los cuerpos de agua superficiales (Leinonen y Kyriazakis, 2016), altamente perjudiciales para las poblaciones acuícolas. Como se explicaba, el exceso de nitrógeno provoca que las plantas y otros organismos acuáticos crezcan en abundancia al tiempo que consumen gran cantidad del oxígeno disuelto y aportan materia orgánica (fango) en abundancia, ocasionando cambios en su coloración y olor por exceso de CO₂ y e insuficiencia de O₂, lo que también ocasiona serios problemas sanitarios.

En síntesis, los efectos de la ganadería sobre el ambiente son multidimensionales, con repercusiones profundas, aunque todavía no son totalmente visibles para una gran cantidad de actores sociales en el corto plazo, por lo que existe la necesidad de seguir documentado estos efectos y, a la vez, inducir la toma de decisiones y acciones de la manera más oportuna posible, para mitigar y, en su caso, restaurar los distintos recursos afectados.

REPERCUSIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA GANADERÍA

El cambio climático es un factor que viene afectando al dinámico desarrollo ganadero, empero, sus secuelas se aprecian lentamente. Ante necesidades cada vez más acuciantes, como el intento de satisfacer el aumento de la demanda de productos pecuarios, el CC aún no está del todo en el radar de la comunidad que estudia la ganadería. Sin embargo, cada vez es más claro que aumentará la necesidad de una producción ganadera eficiente en cuanto al aprovechamiento de los recursos y, por tanto, puede propiciar la intensificación de las tendencias actuales, con una dicotomía cada vez más evidente entre el ganado destinado a la subsistencia de pequeños propietarios y pastores y el especializado, orientado al comercio interno y a la exportación.

Los efectos directos del cambio climático sobre la ganadería dependen del sistema de producción e instalaciones, lo que puede traducirse en un efecto amortiguador para las razas de alto rendimiento en sistemas confinados y para todos aquellos ganaderos que puedan sufragar las inversiones que suponen este tipo de instalaciones, con desventajas inherentes para los productores de pequeña escala (Hoffmann, 2010). Por el contrario, los animales que se desarrollan en condiciones medioambientales variables tienden a padecer estrés térmico al percibir oscilaciones en las temperaturas y para afrontar estos

cambios experimentan modificaciones fisiológicas y de comportamiento, que en la mayoría de los casos se manifiestan en alteraciones de los requerimientos de nutrientes, siendo el agua y la energía los más trastornados, especialmente cuando el ganado vive en ambientes con temperaturas que desbordan los límites de su rango de confort térmico (Rubio et al., 2017). De esta manera, el CC afecta el bienestar y la productividad animal debido a la acción de factores ambientales que influyen en el comportamiento animal.

En cuanto a los cambios de temperatura y su impacto en el comportamiento y en la salud, en los búfalos de agua, por mencionar sólo una especie y sus repercusiones, producción que viene en auge por su triple propósito productivo (carne, leche, trabajo) es muy sensible a este factor. Se menciona que cuando los termorreceptores centrales y periféricos de este animal detectan un aumento de temperatura ambiental, desencadenan los cambios fisiológicos y de comportamiento que cursan generalmente con la inmersión en zonas inundables o pantanos y la búsqueda de sombra debido a que su organismo es ineficiente por sí mismo, para lidiar con la termorregulación ante el cambio climático. Al realizar el intercambio calórico con la humedad del pantano, tiende a estabilizar su temperatura corporal por disipación del calor, mediante contacto directo (Guerrero-Legarreta et al., 2019; Mota-Rojas et al., 2020); sin embargo, este elemento de confort, frecuentemente es descuidado por los productores al no proporcionarles pozas de lodo (Sevegnani et al., 2016), lo cual provoca disminución en la productividad, y

alteraciones en los aspectos reproductivos, como el apareamiento con semen constituido por espermatozoides con menor motilidad; además, compromete la interacción social, al incrementarse las reacciones negativas de agresión hacia sus conespecíficos; predispone a la presencia de enfermedades como efecto secundario de la elevación de los niveles de cortisol por estrés calórico y lo hace más susceptible a las parasitosis externas (Mota-Rojas et al., 2020). Mota-Rojas et al. (2020), usando la técnica de termografía infrarroja mostraron que la diferencia de temperatura corporal puede ser entre 3.4 a 3.6° C menor en búfalos con trazas de lodo en las regiones ventrales y dorsales, respectivamente, en comparación con búfalos mantenidos bajo los rayos solares directos. Hallazgo que pone en evidencia el impacto del cambio climático en esta especie. Sin embargo, es difícil mantener fosas de lodo, cuando el cambio climático impacta en los factores ambientales como una elevación tanto en temperatura como en humedad (Sevegnani et al., 2016). Por otro lado, evaporación del agua es constante tanto en las fosas, como en la humedad de los suelos con pérdida de forrajes, lo que disminuye aún más el confort en esta especie animal.

Por otro lado, en países subtropicales y tropicales, donde la ganadería vacuna está más adaptada a temperaturas elevadas gracias a los cruzamientos entre razas de *Bos taurus e indicus*, la reducción de la disponibilidad de agua debido a la disminución o modificación del régimen de lluvias y/o el alargamiento de la temporada seca perturba severamente su bienestar y productividad. Una especie afectada a

niveles críticos es la porcina, ya que en los climas cálidos rápidamente alcanzan los límites soportables de temperatura (Rubio et al., 2017).

En efecto, el cambio climático puede exacerbar los procesos de degradación de la tierra (nivel de confianza alto), por ejemplo, a través de aumentos en la intensidad de la lluvia, las inundaciones, la frecuencia y severidad de la sequía, la sobrecarga térmica, los períodos de sequía, el viento, el nivel del mar, la acción de las olas y el deshielo del permafrost, que complican la gestión de los sistemas ganaderos (IPCC, 2019).

Un ejemplo de esta dinámica se aprecia en la alternancia de períodos con aumento de precipitación pluvial y otros en los que se reduce drásticamente, provocando en los climas húmedos daños a los cultivos por efecto de las inundaciones, la erosión y salinización del suelo (Cline, 2007); en los ecosistemas áridos y semiáridos, por efectos de las sequías y el calor excesivo se limita el crecimiento y rendimiento de los pastos y cultivos forrajeros, así como mayores ataques de plagas y enfermedades (Doering et al., 2002); y la presencia de incendios forestales que dañan el equilibrio ecológico con la consiguiente pérdida de la biodiversidad de vegetación y de la microbiota del suelo (Swingland, 2001), añadiendo GEI a la atmósfera y perjudicando notablemente a la producción ganadera. La presencia de estos eventos es específica y variada de una región a otra, pero hasta ahora todo indica que los países del sur y los que se ubican en torno al ecuador sobresalen entre los más perturbados (Altieri y Nicholls, 2009).

Además de los efectos fisiológicos de los animales por la elevación de las temperaturas, es probable que las consecuencias del cambio climático incluyan un mayor riesgo para las poblaciones de razas poco habituadas y restringidas geográficamente, dado que están menos preparadas para sobrellevar extremos climáticos y la escasez de instalaciones y su inadecuado manejo tampoco ayudan a paliar dichos efectos. Las repercusiones indirectas pueden producirse a través de cambios en los ecosistemas que alteren la distribución de las enfermedades animales o afecten al suministro de alimentos.

Para contrarrestar lo anterior, es necesario ajustar los objetivos de crianza para tener en cuenta el aumento de las temperaturas, la disminución de la calidad de la dieta y el incremento de las enfermedades. Las especies y razas bien adaptadas a esas condiciones podrían ser las más utilizadas. Las estrategias de mitigación del cambio climático, junto con la creciente demanda de alimentos, también pueden influir en la utilización de las razas y las especies, impulsando un cambio hacia los monogástricos y las razas que son eficientes en la conversión de alimentos en carne, leche y huevos. Esto puede propiciar que se descuide el potencial de adaptación de las razas locales en los países en desarrollo (Hoffmann, 2010).

El estrés térmico suprime el apetito y la ingesta de alimentos, por lo que las raciones para animales de alto rendimiento deben reformularse para enriquecer la concentración de nutrientes. Las temperaturas corporales superiores a 45 a 47 °C son letales para la

mayoría de las especies y se prevé que la temperatura crezca en todo el mundo y que se reduzcan las precipitaciones en muchas regiones (Hoffmann, 2010). Además, con el aumento de la producción de leche en el ganado lechero, las tasas de crecimiento y la delgadez en los cerdos y en las aves de corral, la producción de calor metabólico estaría aumentado y, en esa medida, se debilitaría la capacidad de tolerar temperaturas elevadas (Hansen et al., 2007).

Cabe agregar que la mayoría de las razas locales no están bien caracterizadas y su adaptación incluye no sólo la tolerancia al calor, sino también su capacidad para sobrevivir, crecer y reproducirse en presencia de una mala nutrición (al menos estacional), así como de un mayor número y variedad de parásitos y enfermedades. Las razas adaptadas a estas zonas secas muy posiblemente se verán más afectadas por la degradación de los recursos naturales y la escasez de alimentos vinculada al cambio climático que por los cambios de temperatura o precipitaciones en sí (Hoffmann, 2010). Además, el cambio climático puede perturbar la distribución espacial de los brotes de enfermedades, así como su calendario e intensidad (Haque, 2018).

En ese sentido, también desempeñan un papel relevante la fisiología del rumen, la capacidad de caminar y alcanzar los escasos recursos alimenticios y de ingerir agua y rehidratarse, así como la posibilidad de responder con un pastoreo nocturno incrementado, dadas las altas temperaturas del día. Por ello, la relación entre las reservas energéticas, los parámetros endocrinos y el rendimiento reproductivo de cada raza requiere de atención adicional (Li, 2020).

Se pueden utilizar diversas tecnologías para hacer frente a los efectos de las olas de calor de corta duración, como la colocación de sombreaderos o la aspersión para reducir las cargas de calor excesivas (Marcillac- Embertson et al., 2009; Mota-Rojas et al., 2019). El acceso a estas tecnologías y al capital requerido para ello determinará la capacidad de los productores para proteger sus rebaños del estrés fisiológico del cambio climático. Los sistemas de producción ganadera intensiva tienen un mayor potencial de adaptación mediante la innovación tecnológica, lo que puede reducir su sensibilidad al cambio climático y permitir que se mantengan las razas de alto rendimiento (Adams et al., 1998). La adopción generalizada de estas tecnologías dependerá también de la disponibilidad y los precios de la energía y el agua.

El interrogante es ¿cuánto tiempo podrá mantenerse el entorno productivo de las razas de alto rendimiento ante eventuales aumentos de los precios de los piensos, la energía y el agua? (Hoffmann, 2010).

Sin embargo, Seo y Mendelsohn (2010) han valorado que los efectos del CC sobre los dos tipos de ganadería expuestos en el apartado 3 de este documento, y han determinado que los sistemas de producción en pequeña escala que predominan en los países en vías de desarrollo son más resistentes al CC gracias a la mayor diversidad de especies, a la facilidad con la que pueden cambiar las especies que producen o, al menos, diversificarlas. También debe considerarse que se enfocan en mayor medida en pequeños rumiantes como caprinos y ovinos. Por el contrario, los sistemas especializados e intensivos tienen menos

versatilidad para modificar su orientación productiva, dado lo específico de sus equipos e instalaciones para producir leche o carne de vacuno e inclusive los de otras especies como aves y porcinos, lo que puede implicar mayor vulnerabilidad. Mención especial merecen los animales con hábitos *ramoneadores*, que pueden generar ventajas para alimentarse en condiciones adversas, al acceder a diferentes estratos de la vegetación (herbáceo, arbustivo y arbóreo), algunos de los cuales conservan forraje verde durante la estación seca. En esa medida los animales pueden mantener su condición corporal y, por ende, su rendimiento productivo (Hoffmann, 2010).

Finalmente, también se han detectado sustancias químicas contaminantes, tal es el caso de los residuos de fármacos y de hormonas de uso veterinario en los cuerpos de agua. La descarga directa de estos residuos en aguas superficiales o por escurrimientos desde suelos abonados con excretas animales, son los promotores principales de este tipo de polución (Davis et al., 2006). Los fármacos antimicrobianos, por ejemplo, pueden perturbar los ecosistemas al generar resistencia en microorganismos presentes en el suelo y agua, de tal forma que indirectamente generan escasez de recursos forrajeros (Boxall et al., 2004; Kümmerer, 2004).

En suma, las perturbaciones que el CC viene creado al desarrollo ganadero ya son relevantes y obligan a los diferentes actores, en especial a los ganaderos, a tomar medidas preventivas y, a la vez, acciones que mitiguen la huella ecológica de su ganado, dado que sus

efectos se están revirtiendo contra sus propias posibilidades de crecimiento futuro.

POSIBLES MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA GANADERÍA

En la actualidad se detectan diferentes trabajos destinados a generar alternativas para regular las emisiones de GEI a través de protocolos internacionales; de igual forma se está indagando a profundidad sobre los procesos que inciden en el deterioro de la calidad de aire y, finalmente, para evitar la cadena de sucesos con impacto ambiental provocados por el deficiente y/o excesivo aprovechamiento de los recursos esenciales para la producción animal (Gerber et al., 2013; Tullo et al., 2019).

Se han diseñado medidas de mitigación para contrarrestar las emisiones de gases como el uso de tecnología para transformar métodos de producción ineficientes en sustentables y la adaptación de estrategias que puedan sostener la demanda creciente de los productos de origen animal para la población (Canziani y Mielinicki, 2007; Gerber et al., 2013; Tullo et al., 2019), como los sistemas pastoriles con pasturas de buena calidad bromatológica y la gestión de los sistemas de pastoreo intensivo o, cuando es posible, la instrumentación de sistemas silvopastoriles (Lin et al., 2007). Sin embargo, estos esfuerzos se han revelado insuficientes y las

dimensiones de la problemática actual, reclama una masiva y urgente reacción de la comunidad global.

El consumo de forraje de buena calidad, especialmente en cuanto a su digestibilidad, reduciría las emisiones de GEI provenientes de la fermentación ruminal (y del estiércol almacenado), cuando se miden en relación con la unidad de producto animal. Estas prácticas son altamente recomendables, por ejemplo, las emisiones de CH₄ entérico se pueden disminuir cuando en la dieta el maíz ensilado sustituye a los pastos ensilados. De igual forma, las leguminosas ensiladas pueden tener una ventaja sobre los pastos ensilados debido a su menor contenido de fibra y al beneficio adicional de reducir o eliminar los fertilizantes nitrogenados inorgánicos. La introducción de leguminosas en las praderas de gramíneas de las regiones cálidas puede ofrecer una posibilidad de mitigación, aunque es necesario más investigación sobre los desafíos asociados a los aspectos agronómicos y a las emisiones comparativas de N₂O con los niveles de producción equivalentes obtenidos con fertilizantes nitrogenados (Hristov et al., 2013).

La mejora de la gestión de los pastos (por ejemplo, la restauración de la materia orgánica del suelo, la reducción de la erosión, la disminución de las pérdidas de biomasa resultantes de la quema y el sobrepastoreo) tiene efectos medioambientales positivos (secuestro de C del suelo y conservación de la biodiversidad vegetal, por ejemplo) y un impacto favorable en la productividad del ganado (Smith et al., 2007).

El pastoreo restrictivo, en los momentos en que las condiciones para la formación de N_2O sean más favorables, es una estrategia que coadyuva a distribuir más uniformemente la orina en el suelo y optimizar la aplicación de fertilizantes y, por lo tanto, es una opción para la disminución del N_2O producido por los rumiantes en pastoreo. Los cultivos de cobertura pueden aumentar la absorción de nitrógeno de las plantas y disminuir la acumulación de nitrato, reduciendo de esta manera las emisiones de N_2O del suelo, aunque los resultados no han sido del todo concluyentes. El suministro de proteína en cantidades cercanas a los requerimientos del animal, incluida la concentración proteica correspondiente a las fases de lactancia y de destete, también es recomendado como una práctica eficaz para la disminución de las emisiones de amoníaco y de N_2O provenientes del estiércol (Hristov et al., 2013).

Dentro del ganado en estabulación, el tipo de sistema de recolección y de almacenamiento del estiércol, la separación de sólidos y líquidos en su procesamiento, son prácticas que pueden tener impactos significativos en las emisiones de amoníaco y de los GEI provenientes de las instalaciones en donde se crían los animales. Los digestores anaeróbicos de igual modo representan una medida de mitigación recomendada para el CH_4 , además, generan energía renovable y ofrecen oportunidades para el saneamiento en los países en desarrollo, pero su efecto en las emisiones de N_2O todavía no es claro. La reducción de la concentración de nitrógeno en el estiércol, la prevención de la formación de condiciones anaeróbicas y la reducción

de la entrada de carbono degradable en el estiércol, son estrategias eficaces para la reducción de los GEI provenientes del estiércol aplicado al suelo (Hristov et al., 2013).

Entre las estrategias para mitigar las emisiones de CH₄ también se ha propuesto elevar el rendimiento por unidad animal en aras de reducir el inventario de rumiantes. Para ello, puede ser útil orientar las estrategias de mejoramiento genético a partir del desarrollo de razas y cruza menos metanogénicas y manipular la dietética-nutricional para reducir la actividad de los microorganismos ruminales productores de metano; esta última parece ser una alternativa de alto potencial y de relativa simplicidad y factibilidad (Ramírez et al., 2014). La manipulación nutricional para suprimir la metanogénesis (Reyes-Muro, 2011) incluye el uso de forrajes de alta calidad, alta proporción de granos en la dieta y uso de aditivos, entre otros (Bonilla y Lemus, 2012; Haque, 2018).

Para abonar al aumento de la eficiencia de los animales también se puede optar por una mejora en su manejo y de su salud, extendiendo consecuentemente su vida productiva y mejorando las tasas de reproducción, con lo cual también se limitaría el número de individuos en mantenimiento y menos esfuerzo en la generación de reemplazos (González et al., 2015).

La manipulación dietética puede reducir la emisión de CH₄ hasta en 40%, dependiendo del grado de cambio y la naturaleza de la intervención (Benchar et al., 2001). Otro estudio también indicó que las emisiones de CH₄ pueden reducirse hasta un 75% mediante una

mejor nutrición (Haque, 2018) y una mayor capacidad de degradación en función de la morfofisiología animal (Li, 2011). Debido a las diferencias en la calidad de los alimentos, las mejoras en la productividad de los rumiantes alimentados con pastos en los trópicos darán lugar a mayores reducciones relativas de CH₄ que en los rumiantes que pastan en praderas más digeribles (McCrabb y Hunter 1999). Por ello, es necesario afinar las tácticas de desarrollo y las posibles sinergias entre la cría de plantas y animales (FAO, 2010).

Para la producción pecuaria, Álvarez (2014) menciona que algunas de las estrategias básicas de adaptación de la producción animal al cambio climático podrían ser: la introducción de cambios en el manejo, las tecnologías y la infraestructura, por ejemplo, regulando cargas animales y recurriendo oportunamente a siembras, resiembras, rotaciones de potreros y otras prácticas para minimizar los riesgos de erosión del suelo y favorecer la estabilidad de la cubierta vegetal y su biodiversidad (Leip et al., 2015), así como estrategias para asegurar reservas forrajeras en las épocas críticas. También resulta vital reforzar las estrategias de vigilancia y respuesta rápida frente a las amenazas para la sanidad animal y vegetal, aumentar la disponibilidad, en cantidad y calidad, de agua para el ganado, utilizando genotipos de mayor resistencia a los impactos como la sequía y la mayor presión de los vectores de enfermedades, mejorar la distribución de las áreas de sombra y de abrigo para el ganado, adoptando en donde sea factible sistemas silvopastoriles (Lin, 2007).

Estas medidas pueden además de alentar la absorción de nutrientes, optimizar la productividad de cada animal y su fertilidad, así como reducir las emisiones entéricas por unidad de producto, sin embargo, deben valorarse las emisiones procedentes de otros eslabones de la cadena alimentaria (Elliot et al., 2014), que como se ha documentado previamente también son relevantes.

Otra medida paliativa reside en el mejoramiento genético, a través de la selección de animales eficientes en el consumo de alimento y se puede esperar que produzcan menos CH₄ por unidad de producto respecto al promedio de la población en un nivel de producción similar (Reyes-Muro et al., 2011). De hecho, las instancias de mejoramiento y reproducción se centran cada vez más en seleccionar animales eficientes y más robustos; animales que consistentemente son susceptibles de aumentar su producción con menor cantidad de alimento y con reducida susceptibilidad a las enfermedades (Elliot et al., 2014). Este mejoramiento genético también tiene futuro en vegetales, para generar variedades de forrajes resistentes a la sequía, salinidad, a las plagas, y enfermedades, entre otras que también representarían una respuesta al cambio climático o, al menos, para sobrellevar la agudización del mismo (Hristov et al., 2013).

Dada la posibilidad de que en el futuro se produzcan cambios significativos en las condiciones y en los objetivos de la producción ganadera, es esencial que se garantice el valor que aporta la diversidad genética animal. Para ello es necesario caracterizar mejor las razas, los entornos de producción y los conocimientos asociados; elaborar

inventarios de razas más completos; mejorar los mecanismos de seguimiento y respuesta a las amenazas a la diversidad genética; adoptar medidas de conservación *in situ* y *ex situ* más eficaces; poner en marcha programas de mejora genética orientados a los rasgos adaptativos de las razas de alto rendimiento y a los rasgos de rendimiento de las razas adaptadas localmente; aumentar el apoyo a los países en desarrollo en la gestión de sus recursos genéticos animales; y ampliar el acceso a los recursos genéticos y a los conocimientos asociados (Hoffmann, 2010).

Aunque es probable que los efectos directos del cambio climático sobre los animales sean escasos mientras el aumento de la temperatura no supere de 2 a 3 °C (Puliafito et al., 2020), las proyecciones sugieren que será necesaria una mayor selección de razas con un control termorregulador eficaz. Esto exige la inclusión de rasgos asociados a la tolerancia térmica en los índices de cría, así como una mayor consideración de las interacciones genotipo-ambiente (G-E) para identificar a los animales más adaptados a condiciones específicas (Hoffmann, 2010).

La mayoría de los sistemas de producción ganadera dependen de especies originalmente domesticadas en otros lugares y de razas desarrolladas en otros países y regiones, lo que hace que la mayoría de los países sean muy interdependientes en cuanto a los recursos genéticos animales. El cambio climático, especialmente en el futuro, aumentará la necesidad de mantener un amplio acceso a los recursos genéticos animales en aras de preservar o mejorar los estatus de

seguridad alimentaria. La mayoría de las razas de alto rendimiento se seleccionan para los requisitos de los mercados y sistemas de producción de los países desarrollados. Si no se apoya la caracterización, la cría y la conservación de las razas en los países en desarrollo, aumentará la brecha entre los que tienen y los que no tienen acceso a la ciencia (Hoffmann, 2010).

La contaminación del agua a causa de la industria pecuaria está por demás probada. Por ello, es menester que las excretas se gestionen de acuerdo a normatividades pertinentes y actualizadas para evitar la contaminación del suelo y las aguas cercanas de las granjas o en las áreas vecinas a éstas. Sin embargo, también se observan regiones del mundo en donde la regulación y vigilancia gubernamental concerniente al uso y manejo de las excretas animales es escasa y/o confusa y sólo se especifican ciertas normas sobre las descargas de contaminantes al agua, pero se ha omitido la trascendencia de las emisiones a la atmósfera y al suelo, como se ha revelado en varios países latinoamericanos (Pinos-Rodríguez et al., 2012).

Además de lo anterior, Rojas-Downing et al. (2017), en un intento por salvaguardar las condiciones de la producción pecuaria y su sostenibilidad en aras de elevar la oferta de proteína animal para la población humana, proponen otras medidas complementarias: evaluaciones en la aplicación tanto de las medidas de adaptación, como de mitigación que se puedan ajustar a las condiciones de cada región y de cada tipo de sistema producción pecuario, así como el

diseño de políticas que incentiven y faciliten la implementación de medidas de adaptación y mitigación al cambio climático.

En suma, el CC ha condicionado el desarrollo pecuario y además, esto se puede acentuar en el futuro, sino se toman las medidas necesarias para favorecer la adaptación de las especies vegetales y animales e incentivar la adopción de medidas de mitigación, como las que se han expuesto en este documento.

CONSIDERACIONES FINALES

El sector pecuario mundial se encuentra ante retos impostergables, dado que su modelo de desarrollo ha estado marcado por dinámicas que comprometen su trayectoria futura, entre las que destacan: 1) El crecimiento acelerado en los últimos decenios; 2) El desarrollo bimodal, dado que por un lado existe un notable proceso de intensificación con alta incorporación de tecnología y elevado consumo de recursos naturales y, por otro, sistemas en pequeña escala con bajo nivel de inversión y con reducida capacidad para regenerar los recursos naturales; 3) La trascendental contribución a la seguridad alimentaria mundial; 4) Alta responsabilidad en el CC, principalmente por su importante contribución en los GEI antropogénicos y la contaminación de suelos y agua, así como en la eliminación de la vegetación primaria; 5) La fragilidad productiva ante los efectos crecientes del CC que limitan su potencial de desarrollo 6) La insuficiente normatividad que regule el impacto de las actividades pecuarias afectando al CC y; 7) Adquirir consciencia de los peligros que

implica la elevación de la temperatura del planeta; 8) Sensibilizar y comprometerse con los esfuerzo de mitigación en los años por venir, aunque la construcción de alternativas contundentes todavía se encuentra en una fase incipiente.

Es patente que la producción animal y el cambio climático mantienen una relación mutua, que se ha develado tanto íntima como compleja, la cual se ha venido estudiando cada vez con mayor decisión, aunque las estimaciones sobre los efectos no están cerca de ser concluyentes. En lo que si existe consenso es en la dificultad progresiva que encontrará la ganadería para mantener o aumentar su ritmo de crecimiento en medio del calentamiento global, de la degradación de los recursos naturales y con altos volúmenes de desechos contaminantes.

Ante ello, se requiere implementar estrategias coordinadas en las escalas global y locales en todos los eslabones de las cadenas de producción animal, pues se deben cambiar de manera categórica los modelos de consumo e introducir prácticas sustentables en la actividad primaria e industrial, que surjan de las investigaciones científicas que puedan detectar nuevos equilibrios entre la producción pecuaria, el bienestar animal, donde se considera especialmente el consumo alimentario y la sustentabilidad ambiental.

Finalmente, es necesario reforzar legislaciones y normativas que regulen el manejo de excretas y la emisión de gases de efecto invernadero, así como asegurar el seguimiento de estas medidas legales para se apliquen con rigor y coadyuven efectivamente en la

mitigación y restauración de los recursos naturales (agua, suelo y aire). Estas tareas se deben impulsar y adoptar con premura en diferentes ámbitos, desde centros de educación, investigación hasta los poderes públicos y privados, y debe comprender el cambio de hábitos de producción y consumo individuales y colectivos, para que estén a la altura de un reto que hasta ahora parece estar subestimado.

REFERENCIAS

- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. LEISA revista de agroecología. 14, 5-8.
- Álvarez, A., 2014. El cambio climático y la producción animal., Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Cuba. Rev. cuba. cienc. agríc. 48:7-10.
- Bertoni, A., Álvarez, A., Mota-Rojas, D., 2019. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. Soc. Rur. Prod. Med. Amb. 19 (38), 59-80.
- Bonilla, C. J.A., Lemus, F.C., 2012. Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático: Revisión. Rev. Mex. Cienc. Pecu. 3: 215-246.
- Boxall, A., Fogg, L., Blackwell, P., Kay, P., Pemberton, E., 2004. Veterinary medicines in the environment. Rev. Environ. Contam. Toxicol. 180:1-91.

- Canziani, P.O., Mielinicki, D.M., 2007. Cambio climático y desarrollo limpio en Argentina (1) pp. 63-67 en CAENA (ed). 1 Congreso Argentino de Nutrición Animal. Buenos Aires, Argentina.
- Chará J., Reyes E., Peri P., Otte J., Arce E., Schneider F., 2019. Silvopastoral Systems and their Contribution to Improved Resource Use and Sustainable Development Goals: Evidence from Latin America. FAO, CIPAV and Agri Benchmark, Cali, 60 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- Cline, W.R., 2007. Global warming and agriculture: impact estimates by country. Center for Global development, Peterson Institute for International Economics. Columbia University Press USA. pp. 225
- Davis, J., Truman, C., Kim, S., Ascough, J., Carlson, K., 2006. Antibiotic transport via run off and soil loss. J. Environ. Qual35:2250-2260.
- De la Orden, E.A., Quiroga, A., Justiniano, D.R., Morláns, M.C., 2005. Efecto del sobrepastoreo en un pastizal de altura. Cumbres de Humaya. Catamarca. Argentina. Ecosistemas. 15:142-147
- Doering, III, O.C., Randolph, J.C., Pfeifer, R.A., Southworth, J. 2002. (Eds.). Effects of climate change and variability on agricultural production systems. Springer Science & Business Media. Kluwer Academic Press. Boston, USA. pp.150
- Elliot, J., Drake, B., Jones, G., Chatterton, J., Williams, A., Wu, Z., Curwen, A., 2014. Modelling the impact of controlling UK endemic cattle diseases on greenhouse gas emissions. In

Proceedings of the 88th Annual Conference of the Agricultural Economics society. Paris, France.

Espíndola, C., Valderrama, J.O., 2012. Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. Inf. Tecnol. 23: 163-176.

FAO, 2020a. Base de datos de producción animal <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>

FAO, 2020b. Base de datos de emisiones, Agricultura, Agricultura Total. In: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/EM>, FAOSTAT., 2020

FAO, 2010. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector: A Life Cycle Assessment. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy

FAO., 2006. Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy

FAO. 2019. Cambio climático y seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe. <http://www.fao.org/3/ca2902es/CA2902ES.pdf>

FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO, 2020. The State of Food Security and Nutrition in the World 2020. Transforming food systems for affordable healthy diets. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9692en>

FAO-OCDE, 2020. Perspectivas Agrícolas OCDE-FAO 2013-2022, <http://www.oecd.org/centrodemexico/medios/perspectivasagricolasocde-fao2013-2022.htm>.

- Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA), 2020.
<https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>, consultado 17 de diciembre de 2020.
- Genís Godino, J., 2020. Impactos negativos para el medio ambiente generados por el sector ganadero: contaminación y cambio climático. Universitat Politècnica de València.
<http://hdl.handle.net/10251/158355>
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G., 2013: Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy 5-40.
- González, P.E., Dávalos, F.J.L. Rodríguez, R.O., 2015. Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería tropical. CDMX, México: Redgatro-Conacyt, México. 276 pp.
- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. 2019a. El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales. Segunda edición. México, Editorial BM Editores. Ciudad de México. p.p. 1-881.
<https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>
- Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Russell, G., Lea, D. W., Siddall, M., 2007. Climate change and trace gases. Philosophical

- Transactions of the Royal Society A: Proc. Math. Phys. Eng. Sci.. 365:1925-1954.
- Haque, M. N., 2018. Dietary manipulation: a sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants. *J. Anim. Sci. Technol.* 60:15.
- Hegland, S.J., Nielsen, A., Lázaro, A., Bjerknes, A. L., Totland, Ø., 2009. How does climate warming affect plant-pollinator interactions?. *Ecol. Lett.* 12: 184-195.
- Herrero, M.; Wirsenius, S.; Henderson, B.; Rigolot, C.; Thornton, P.K.; Havlík, P.; De Boer, I.; Gerber, P.J., 2015. Livestock and the environment: What have we learned in the past decade? *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 40, 177–202.
- Herrero, M.; Addison, J.; Bedelian, C.; Carabine, E.; Havlik, P.; Henderson, B.; Van De Steeg, J.; Thornton, P.K., 2016. Climate change and pastoralism: Impacts, consequences and adaptation. *OIE Rev. Sci. Tech.*, 35, 417–433.
- Hoffmann Irene, 2010. Climate change and the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. *Journal compilation 2010 International Society for Animal Genetics, Animal Genetics*, 41 (Suppl. 1), 32–46.
- Hristov, A.N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. & Oosting, S. 2013. Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones

técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂. Editado por Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson y Harinder P.S. Makkar. Producción y Sanidad Animal FAO Documento No. 177. FAO, Roma, Italia.

IPCC, 2019: Resumen para responsables de políticas. En: El cambio climático y la tierra: Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres [P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley (eds.)]. En prensa.

Kumari, S., Singh, T. P., Prasad, S., 2019. Climate Smart Agriculture and Climate Change. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 8:1112-1137.

Kümmerer, K., 2004. Resistance in the environment. J. Antimicrob. Chemother. 54:311-320.

Leinonen, I., Kyriazakis, I., 2016. How can we improve the environmental sustainability of poultry production?. P. Nutr. Soc. 75: 265-273.

Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S., Simpson, D., Sutton, M.A., Wim de Vries-Weiss, F., 2015.

- Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environ. Res. Lett.* 10:115004.
- Leister, A.M.; Paarlberg, P.L.; Lee, J.G., 2015. Dynamic effects of drought on U.S. Crop and livestock sectors. *J. Agric. Appl. Econ.*, 47, 261–284.
- Li, C., Champagne, P., Anderson, B.C., 2011. Evaluating and modeling biogas production from municipal fats, oil and grease and synthetic kitchen waste in co-digestion. *Bioresour. Technol.*, 102:9471–9480.
- Li, Z., Fang, G., Chen, Y., Duan, W., Mukanov, Y., 2020. Agricultural water demands in Central Asia under 1.5 °C and 2.0 °C global warming. *Agric. Water Manag.* 231:106020.
- Lin, B.B., 2007. Agroforestry management as adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agric. For. Meteorol.* 144: 85-94
- Miner, J.R., Humenik, F.J. Overcash, M.R., 2000. Managing Livestock Wastes to Preserve Environmental Quality. 2000 Iowa State University Press, Ames, Iowa 50014, U.S.A.
- Morignat, E.; Perrin, J.B.; Gay, E.; Vinard, J.L.; Calavas, D.; Hénaux, V., 2014. Assessment of the impact of the 2003 and 2006 heat waves on cattle mortality in France. *PLoS ONE*, 9, e93176.
- Mora-Medina, P., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macías, A., Flores, K., Reyes, B., Torres, F., Bertoni, A., Cruz-Monterrosa, R., Ramírez, N.R.,

Guerrero-Legarreta, I. 2019. Capítulo 18. La huella ambiental de la producción pecuaria. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 582-628), Segunda edición. México, BM Editores.

Mota-Rojas, D., Ghezzi, M.D.; Sarubbi, J., Napolitano, F., José-Pérez, N., Braghieri, A., Martínez, G.M.; Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I., Barrios, H., Martínez-Burnes, J. 2019. Capítulo 17. Importancia de la sombra natural o artificial y su efecto en los indicadores fisiológicos y de comportamiento en el búfalo de agua, bovino europeo y bovino índico. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 539-581), Segunda edición. México, BM Editores.
<https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A., Martínez-Burnes, J., Cruz-Monterrosa, R., Gómez, J., Ramírez-Bribiesca, E., Barrios-García, H., José, N., Álvarez A., Mora-Medina, P., Orihuela, A., 2020. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. J. Anim. Behav. Biometeorol. 9, 2103. <https://doi.org/10.31893/jabb.21003>

- Nardone, A.R.; Ronchi, B.; Lacetera, N.; Ranieri, M.S.; Bernabucci, U., 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.*, 130, 57–69.
- Nicholson, F., Groves, S., Chambers, B., 2005. Pathogen survival during livestock storage and following land application. *Bioresour. Technol.* 96:135-143.
- O'Mara, F.P., 2011. The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Anim. Feed Sci. Technol.* 7-15: 166–167.
- Pinos-Rodríguez, J., García- López, J., Peña-Avelino, L., Rendón Huerta, J., González-González, C., Tristán-Patiño, F., 2012. Environmental regulations and impact of manure generated by livestock operations in some american countries. *Agrociencia (Montecillo)*.; 46: 359-370.
- Polley, H.W.; Briske, D.D.; Morgan, J.A.; Wolter, K.; Bailey, D.W.; Brown, J.R., 2013. Climate change and North American rangelands: Trends, projections, and implications. *Rangel. Ecol. Manag.*, 66, 493–511.
- Puliafito, S.E., Bolaño-Ortiz, T., Pascual Flores, R., 2020. High resolution inventory of atmospheric emissions from livestock production, agriculture, and biomass burning sectors of Argentina. *AtmEn.* 223: 117248.
- Powers, W., 2009. Environmental challenges ahead for the US dairy industry. In *Proc. of the 46th Florida Dairy Production Conference*. pp.13-24

- Ramírez, J.F., Posada Ochoa, S., Noguera, R., 2014. Ruminant methanogenesis and mitigation strategies. *CES Med. Vet. Zootec.* 9: 307-323.
- Reyes-Muro, A., Gutierrez-Bañuelos, H., Diaz-Garcia, L.H., Gutierrez-Pina, F.J., Escareno-Sanchez, L.M., Banuelos-Valenzuela, R., Medina-Flores, C.A., Corral Luna, A., 2011. Potential environmental benefits of residual feed intake as strategy to mitigate methane emissions in sheep. *J. Anim. Vet. Adv.* **10**:1551– 1556.
- Rivera A.R. y Ortiz R., 2017. Producción de soya transgénica y miel en Yucatán, México. Impactos en la sustentabilidad de productores de Tekax, *Revista de Economía* - Vol. XXXIV - Núm. 88 enero a junio de 2017 - Págs.: 45- 81.
- Rojas-Downing, M.M.; Nejadhashemi, A.P.; Harrigan, T.; Woznicki, S.A., 2017. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Clim. Risk Manag.* 16, 145–163.
- Rubio, A., Roig, S., 2017. Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en los sistemas extensivos de producción ganadera en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid. pp. 24-25.
- Rust, J.M.; Rust, T., 2013. Climate change and livestock production: A review with emphasis on Africa. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 43, 256– 267.

- Sabia, E., Napolitano, F., Claps, S., De Rosa, G., Barile, V.L., Braghieri, A., Pacelli, C., 2018 Environmental impact of dairy buffalo heifers kept on pasture or in confinement. *Agric. Syst.* 159: 42-49.
- Sarkwa F.O., Timpong-Jones E.C., Assuming-Bediako N., Aikins S., Adogla-Bessa T., 2016. The contribution of livestock production to climate change: a review. *Livest. Res. Rural Develop.* 28 (3).
- Seo, S. N., McCarl, B. A., Mendelsohn, R., 2010. From beef cattle to sheep under global warming? An analysis of adaptation by livestock species choice in South America. *Ecol. Econ.* 69: 2486-2494.
- Sevegnani, K.B., Fernandes, D.P.B., Silva, S.H.M-G da, 2016. Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. *Engenharia Agrícola* 36:1-12.
- Silbergeld, E., 2019. One health and the agricultural transition in food animal production. *Global Transitions*.6:83-92.
- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M.; de Haan, C., 2006. *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy. ISBN 978-92-5-105571-7.
- Swingland, I.A., 2001. Biodiversity, definition of *Encyclopedia of Biodiversity*, 1: 377–391.
- Tarazona, A.M.; Ceballos, M.C.; Correa, G.; Cuartas, C.A.; Naranjo, J.F.; Paranhos da Costa, M.J., 2017. Welfare of cattle kept in

intensive silvopastoral systems: A case report. *Rev. Bras. Zootec.*, 46, 478–488.

Tarazona A.M., Ceballos M.C., Broom D.M., 2020. Human Relationships with Domestic and Other Animals: One Health, OneWelfare, One Biology. *Animals*, 10, 43; doi:10.3390/ani10010043

Thornton, P.K.; van de Steeg, J.; Notenbaert, A.; Herrero, M., 2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agric. Syst.*, 101, 113–127.

Tullo, E., Finzi, A., Guarino, M., 2019. Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Sci. of the total Envir.* 650: 2751-2760.

UN, 2020. Población Mundial. <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>

UN, 1992. Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Nueva York, USA. pp. 1-50 In: https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf.

Uwizeye, A., de Boer. I., Opio¹ C., Schulte R., Falcucci¹ A., Tempio G., Teillard F., Casu F., Rulli M, Galloway J., Leip A., Erisman J., Robinson T., Steinfeld H. and Gerber P., 2020. Nitrogen emissions along global livestock supply chains. *Nature foods*, vol. 1 july 2020, pp.437-446.

Von Bobrutzki, K., Müller, H., Scherer, D., 2011. Factors affecting the ammonia content in the air surrounding a broiler farm. Biosyst. Eng. 108: 322-333.



SECCIÓN IV



The bronze bull. 50x50 cm, oil on canvas, 2020.

By Alex Cuibus

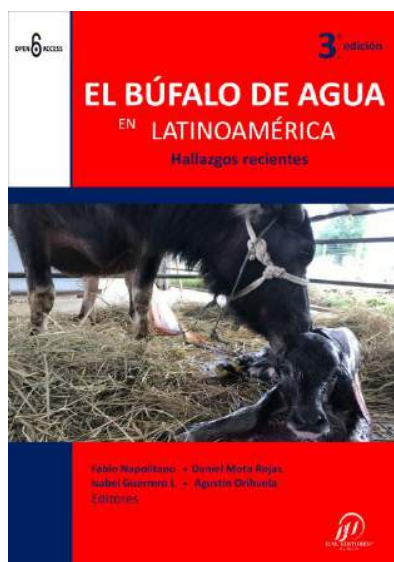
CALIDAD DE MUERTE Y SENSIBILIDAD AL DOLOR



CAPÍTULO 25

CALIDAD DEL ATURDIMIENTO EN BÚFALOS: REFLEJOS Y SIGNOS DE RETORNO A LA SENSIBILIDAD DURANTE LA MUERTE

Daniel Mota-Rojas, Marcelo Daniel Ghezzi, Fabio Napolitano, Ismael Hernández-Ávalos, Marcelo R. Rosmini, Leonardo Thielo de la Vega, Rosy Cruz-Monterrosa, María Nelly Cajiao, Agatha Miranda-Cortés, Fabiola Torres-Bernal, Karina Lezama-García, Clemente Lemus-Flores, Paola Soto-Franco, Narda Moreno-Avila e Isabel Guerrero Legarreta



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 25

Calidad del aturdimiento en búfalos: Reflejos y signos de retorno a la sensibilidad durante la muerte

Daniel Mota-Rojas¹, Marcelo Daniel Ghezzi², Fabio Napolitano³, Ismael Hernández-Ávalos⁴, Marcelo R. Rosmini⁵, Leonardo Thielo de la Vega⁶, Rosy Cruz-Monterrosa⁷, María Nelly Cajiao⁸, Agatha Miranda-Cortés⁴, Fabiola Torres-Bernal¹, Karina Lezama-García¹, Clemente Lemus-Flores⁹, Paola Soto-Franco¹, Narda Moreno-Avila¹ e Isabel Guerrero Legarreta¹⁰

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.

²Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

³Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

⁴Departamento de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, FESC. Estado de México, México.

⁵Departamento de Salud Pública Veterinaria. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Litoral. Esperanza, Provincia de Santa Fe, Argentina.

⁶Universidade Luterana do Brasil – ULBRA. Gestor de la certificación de bienestar animal “Produtor do Bem”. Pós-graduação em UNOESC, Brasil.

⁷Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-L. Lerma. México.

⁸Especialización Bienestar Animal y Etología (EBAE). Fundación Universitaria Agraria de Colombia, UNIAGRARIA. Colombia.

⁹Calidad de la Carne de animales de granja especialmente en animales criollos. Nutrigenómica en el Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias. Universidad Autónoma de Nayarit (México).

¹⁰Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-I. Ciudad de México. México.

INTRODUCCIÓN

Una de las consecuencias de que los animales sean sacrificados sin ningún tipo de aturdimiento o método de insensibilización, es el dolor que experimentan (Mota-Rojas et al., 2005; Mota-Rojas et al., 2010a,b; Mota-Rojas et al., 2020a,b), esto debido al incremento en el intervalo de tiempo en que estos individuos pierden la función cerebral y por ende, en que manifiesten signos de muerte encefálica.

Esto se ha demostrado experimentalmente, monitorizando las respuestas somatosensoras del cerebro hasta que el animal colapsa (Blackmore, 1984; Mota-Rojas et al., 2020a,b).

Al momento de la matanza, el dolor y el miedo son las principales fuentes de estrés en el animal y para evitarlo se emplean, en la mayoría de los casos, dos técnicas: 1. El aturdimiento, el cual debe inducir la pérdida de consciencia y 2. El desangrado, que conduce a la muerte por choque hipovolémico. Por medio del aturdimiento se logra que el animal quede inconsciente e insensible a los estímulos del ambiente, debido a que el cerebro ya no es capaz de lidiar con la información sensorial (Alarcón-Rojo y Duarte-Atondo, 2006; Mota-Rojas et al., 2010a,b; Farouk, 2013; Terlow et al., 2016a; Mota-Rojas et al., 2020a,b; Alarcón-Rojo et al., 2020). Aunado a esto, el bienestar animal, ha sido considerado como un componente importante para asegurar la calidad e inocuidad de los alimentos (Fike y Spire, 2006; Mota-Rojas et al., 2016; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b; Guerrero-Legarreta et al., 2020a,b,c; Cruz-Monterrosa et al., 2020). Desde este punto de vista, el aturdimiento tiene como finalidad evitar el dolor y estrés a los animales al momento de provocarles la muerte (OIE, 2012).

Pero ¿Qué es el aturdimiento?. Se trata de una técnica que busca la perturbación de los sentidos, provocando la pérdida inmediata de la consciencia, ocasionado por un traumatismo o golpe, una descarga eléctrica y anestesia con gas CO₂ (estímulo mecánico, eléctrico,

químico), es decir, un procedimiento que permita al animal estar insensible mientras se le ocasiona la muerte (Tardio et al., 1999), y que es requisito elemental previo a la muerte de los animales destinados al consumo humano (Zivotofsky y Strous, 2012).

Mientras que en unos países algunas técnicas de aturdimiento si son permitidas, en otros no. Por ejemplo, en la Unión Europea, está prohibido sacrificar al ganado bovino (*Bos*) con pistola de perno cautivo en la nuca, ya que el disparo debe hacerse en la zona frontal. Esto se debe a que cuando se dispara a través de la nuca, el perno no penetra tan profundamente y el aturdimiento no sería el óptimo (Gregory, 2008).

Dentro de los métodos de aturdimiento autorizados por la Unión Europea hasta 1999 se encontraban: a) La pistola de perno cautivo penetrante, b) La percusión, c) La electronarcosis y d) La exposición al dióxido de carbono (Tardio et al., 1999). Por lo que respecta a algunos países en Latinoamérica, entre ellos México; los lineamientos y regulaciones para aplicar los métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres se mencionan en la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014 (DOF, 2015).

No obstante, en Argentina, el Decreto 4238/68 mediante el Reglamento de Inspección de productos, subproductos y derivados de origen animal, rige en todos los aspectos higiénico-sanitarios de elaboración e industrialización de las carnes, subproductos y derivados, y de todo producto de origen animal, como asimismo los

requisitos para la construcción e ingeniería sanitaria de los establecimientos donde se sacrifiquen e industrialicen.

En ambos casos, con la elaboración de preceptos legales se busca el bienestar animal al establecer normas sobre la matanza de animales criados o mantenidos con vistas a la producción de alimentos, lana, cuero, piel u otros productos. En este sentido, estos procedimientos normativos buscan especificar que el sacrificio no humanitario puede provocar dolor, angustia, miedo u otras formas de sufrimiento a los animales, incluso en las mejores condiciones técnicas disponibles.

Por ello, es importante vigilar la pérdida de la consciencia de un animal al momento del sacrificio. Salvo algunas excepciones, como la electroinmovilización u otras parálisis provocadas, un animal puede considerarse inconsciente cuando pierde su posición natural de pie, no despierta y no presenta signos de emociones positivas o negativas como el miedo o la excitación.

En países como la India, debido a sus creencias religiosas, la matanza de las vacas (*Bos indicus*) no está permitido, sin embargo, se acepta el sacrificio de los búfalos (Bruckert, 2019). En contraposición a lo estipulado por el bienestar animal, para la religión musulmana, las técnicas de aturdimiento no son bien vistas y el sacrificio de los animales para consumo humano debe realizarse degollando al animal sin ningún tipo de aturdimiento (método halal) (Gregory et al., 2008).

Por otro lado, recientemente ha llamado mucho la atención el lento aumento del consumo de carne de búfalo de agua (*Bubalus bubalis*), debido a que tiene ciertas ventajas sobre la carne de res. Por ejemplo, los niveles de colesterol y grasas saturadas son más bajos (Irurueta et al., 2008), su color es más atractivo, pues es más rojo y su textura es más suave (Spanghero et al., 2004), además de que los búfalos tienden a desarrollar una producción de carne más elevada y con menor inversión económica que el ganado bovino del género *Bos* (Kandeeppan et al., 2013). Sin embargo, el bienestar de estos animales, no se ha desarrollado a la par de su popularidad y es por ello que, a la fecha no se tienen bien reguladas las normas al momento de su crianza, transporte y sacrificio (Bornett-Gauci et al., 2006).

Por ello, el objetivo de la presente revisión es evaluar los hallazgos científicos recientes, que determinen la diferencia entre inconsciencia e insensibilización, así como la neurofisiología del impulso doloroso y la importancia del reconocimiento de los signos del retorno a la sensibilidad y la consciencia, durante la muerte en grandes rumiantes (*Bos indicus*, *Bos taurus* y *Bubalus bubalis*). Del mismo modo, concientizar a los involucrados en el área, de la importancia de utilizar una buena técnica de insensibilización y de que bajo ninguna circunstancia se puede permitir la muerte dolorosa de ningún animal, así como conocer los signos de retorno a la sensibilidad que son una herramienta indispensable para evaluar la calidad del aturdimiento.

Los mecanismos utilizados en la insensibilización son de alta efectividad, aunque los problemas usuales del aturdimiento y que causan baja eficacia de las pistolas son su escaso o nulo mantenimiento, la infraestructura inadecuada para la contención y sujeción de cabeza, y el manejo por parte de operarios no capacitados. También es necesario que las personas que trabajan en este campo, tengan un excelente conocimiento de los instrumentos y procedimientos utilizados. Estos últimos se deberán realizar siempre con la técnica conforme a lo establecido en los reglamentos, además de contar con el equipo adecuado para cada especie, con el debido mantenimiento para que de esta manera se pueda evitar el dolor innecesario en los animales.

PÉRDIDA DE LA CONSCIENCIA E INSENSIBILIZACIÓN

La percepción del medio ambiente requiere del buen funcionamiento de la corteza cerebral primaria y asociativa para lograr reconocer, entender y darle sentido a lo que se percibe (Laureys, 2005). Así, la consciencia puede perderse cuando ocurre la incapacidad de las estructuras corticales y subcorticales de producir e integrar las imágenes de uno mismo y del medio ambiente (Damasio, 2010), por lo que el estado de inconsciencia se debe a la disfunción en los hemisferios cerebrales, en la formación reticular o en el tálamo bilateral medio (Brown et al., 2012).

Puede decirse que la consciencia y la insensibilización son términos opuestos, ya que la consciencia se asocia con el estado de vigilia y la capacidad para percibir y experimentar sensaciones, incluyendo sensaciones negativas como el dolor (Gibson et al., 2015), en otras palabras, es la habilidad para interactuar, percibir y comunicarse con el ambiente y con otros seres (Zeman, 2001). Por el contrario, la inconsciencia, aunque en animales el término más apropiado podría ser insensibilidad por ser menos antropomórfico, tiene que ver con una alteración temporal o permanente de la función cerebral y como consecuencia de esta interrupción, el animal es incapaz de responder a estímulos, incluso a aquellos que son dolorosos (EFSA, 2006). Este estado de inconsciencia o insensibilidad puede deberse a una concusión cerebral (el golpe o penetración de un perno cautivo, por ejemplo), a procedimientos anestésicos, a un proceso de anoxia o a un choque electroconvulsivo (Verhoeven et al., 2015). Por otro lado, la insensibilización se refiere a la completa inhabilidad de experimentar cualquier estímulo o sensación, ya sea placentera o dolorosa (Hemsworth et al., 2009).

El hecho de realizar en los animales el aturdimiento previo a la matanza, lo que busca es provocar un estado de inconsciencia e insensibilización, hasta el momento de la muerte del animal (Gregory et al., 2010), para que de este modo se evite por todos los medios el dolor y el sufrimiento (Verhoeven et al., 2015).

Al momento de la insensibilización con alguno de los métodos de aturdimiento; por ejemplo, con la detonación de un cartucho explosivo o por aire comprimido usando un dispositivo con perno cautivo penetrante o no; como consecuencia del impacto se producen una serie de cambios que provocan la despolarización de la membrana celular en el sistema nervioso, ocasionando con ello la insensibilidad (Terlow et al., 2008) y afectando principalmente el sistema reticular, haciendo que el animal colapse (se desplome), ya que la corteza cerebral no es capaz de mantener la postura (Verhoeven et al., 2015). Del mismo modo, el daño en el tálamo y en el diencefalo son un blanco adecuado para realizar un aturdimiento efectivo (Zeman, 2001). Cuando la corteza cerebral es dañada (por ejemplo, con el perno cautivo), la integración neuronal de los estímulos que provienen del sistema nervioso central (SNC), necesarios para la consciencia y percepción de las experiencias, no se lleva a cabo y el animal queda inconsciente (Adams y Sheridan, 2008). En la **figura 1** se muestra la representación esquemática del aturdimiento en el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*), en donde dicho procedimiento de acuerdo con Glardon et al. (2017), se realiza con una pistola de perno cautivo penetrante entre 5 y 10 cm de distancia del animal en la región frontal. Mientras que el dispositivo de perno cautivo no penetrante debe posicionarse 20 mm arriba de la posición usada para el instrumento penetrante (HSA, 2006).

La insensibilización se produce inmediatamente por una combinación de contusión y cambios en la presión intracraneal (Barros y Castro, 2004). En su caso, el búfalo de agua se puede aturdir eficazmente utilizando un equipo de perno cautivo de alta potencia apropiado, cuando se aplica con cuidado en la posición adecuada y en el ángulo correcto. En categoría de bubillos livianos (hasta 380 kg) funcionan correctamente los martillos neumáticos “no perforantes”, pero en categorías más pesadas se realiza el aturdimiento mediante electronarcosis con 2-2.5 A o bien con martillo neumático “perforante”. La pistola convencional activada con cartucho de bala no es efectiva para el aturdimiento del búfalo.

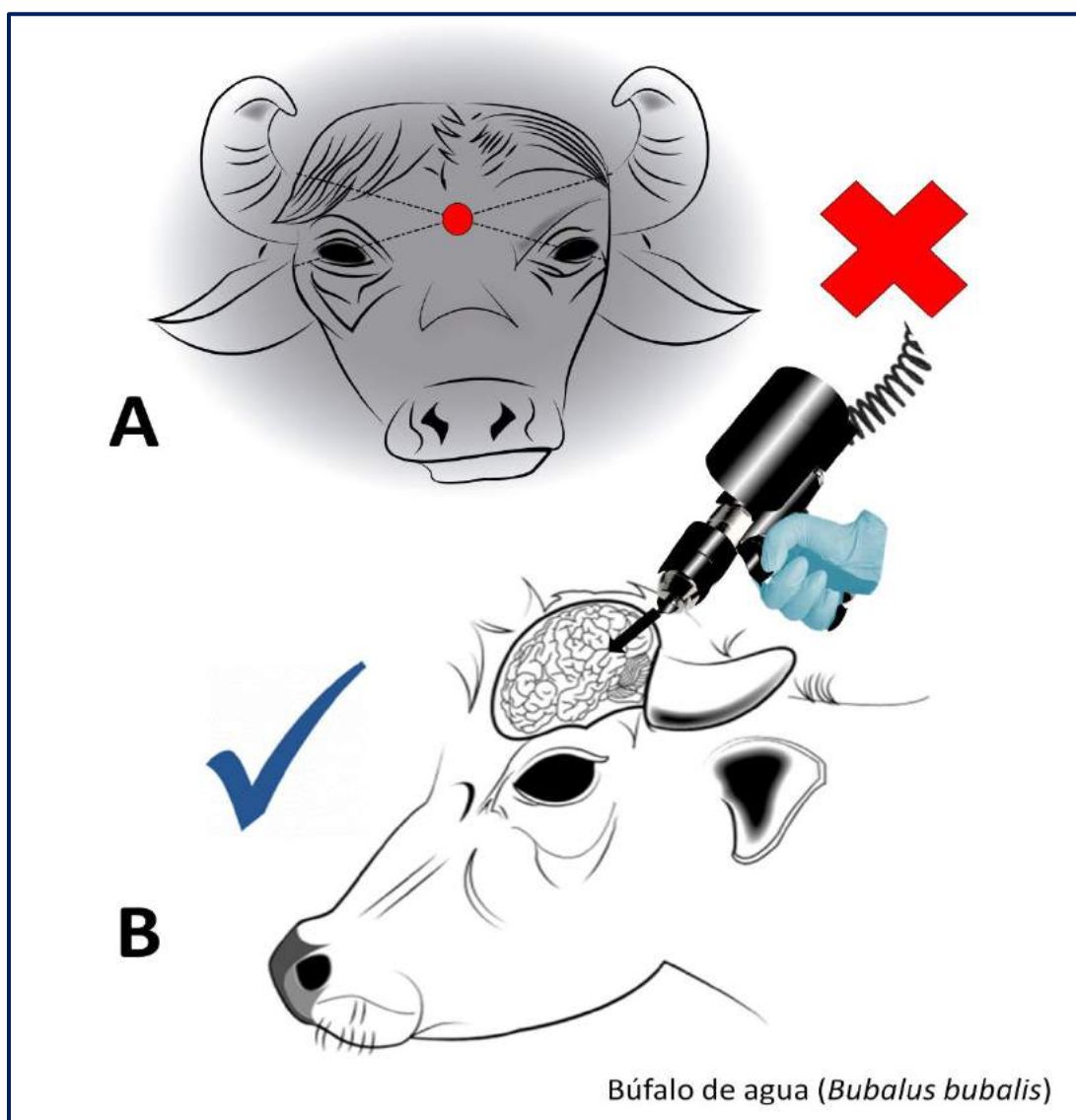


Figura 1. Representación esquemática del correcto aturdimiento del búfalo de agua. (Esquemas cortesía de Ana María Duarte).

Como se ilustra en **la Figura 1**, el cerebro está situado en la parte alta o dorsal de la cabeza. **A.-** La posición ideal de aturdimiento es en el centro de la frente para el bovino tradicional (género *Bos*), en el punto de cruce de dos líneas imaginarias dibujadas entre los ojos y el centro de la base de los cuernos opuestos; pero esta técnica **NO** es apta para los búfalos debido al grosor y resistencia de los huesos de esta región

del cráneo. **B.-** Para los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*), se recomienda la aplicación del disparo en la región de la nuca (Poll), en la depresión ubicada por debajo de la protuberancia intercornual y por encima de los puntos de la unión del ligamento de la nuca.

Cuando se aplica un golpe seco y fuerte correctamente sobre el cráneo (en este caso con la pistola de perno cautivo), produce una contusión inmediata en la cabeza, lo que hace que el cerebro se desplace y golpee dentro del cráneo. Con ello, se produce una interrupción de la actividad eléctrica normal como consecuencia del incremento masivo y repentino de la presión intracraneal, seguido de una reducción repentina de la presión. Los consiguientes daños en los nervios y vasos sanguíneos causan disfunción y/o destrucción del cerebro e impiden la circulación sanguínea, haciendo que el animal colapse y caiga desplomado.

En el momento de realizar el aturdimiento, el efecto inicial en el animal es la inconsciencia inmediata acompañada de lo que se conoce como actividad tónica y clónica (Gregory et al., 2007). El aturdimiento con pistola de perno cautivo causa un trauma abrupto en el cráneo, provocando conmoción y/o contusión en el cerebro y en los vasos sanguíneos asociados y con ello, la aparición de signos fisiológicos dependiendo de dónde, qué tan profundo y con cuánta velocidad o fuerza, la bala o émbolo penetren en el tronco encefálico (Appelt y Sperry, 2007).

El efecto del aturdimiento mecánico provocado por el perno cautivo penetrante causa conmoción cerebral e insensibilidad en 1 milisegundo, lo cual genera daños cerebrales e interrupción de la actividad cerebral resultando en la pérdida del estado de consciencia, proporcionando un efecto útil que puede ser mayor a los 60 segundos. Mientras que en el método de perno cautivo no penetrante la conmoción cerebral e insensibilidad sucede a los 2 milisegundos, además de que se produce por deformación de los tejidos del SNC y aumento de la presión intracraneana por lo que su efecto es útil entre 25 y 35 segundos (Ghezzi, 2017).

Cuando se aturde al animal, este sufre un colapso, deja o reduce su nivel de respiración y se muestra rígido, con la cabeza estirada y los miembros pélvicos (patas traseras) flexionadas hacia el abdomen. Este periodo de rigidez normalmente dura entre 10 y 20 segundos tras el aturdimiento (HSA, 2014). Posteriormente, la cabeza, orejas, cola y espalda deben colgar rectas y sin presencia de reflejos. Otros indicadores que se pueden evaluar además de la cabeza caída, es la ausencia de movimientos de la nariz (nariz de conejo), aunado a la lengua relajada y flácida que puede quedar atrapada en la boca más la ausencia de vocalización.

Con la observación de estos signos en conjunto, se puede inferir que el animal fue aturdido correctamente. Así mismo, se espera que haya

pérdida del tono muscular (Meichtry et al., 2018). Sin embargo, es posible que se flexionen las patas delanteras inicialmente y después se estiren gradualmente. Por el contrario, si un animal manifiesta inmediatamente movimientos de las patas delanteras o traseras al sufrir el colapso, es casi seguro que no esté correctamente aturdido, lo cual suele acompañarse de la ausencia de arqueado de columna y reflejo de enderezamiento (se permite una pequeña flexión lateral).

Otros signos que tampoco deben observarse son el reflejo palpebral y corneal, nistagmos, ni rotación ocular (Grandin, 2002). Por tanto, un aturdimiento efectivo sucede cuando el animal está inconsciente o insensible al dolor inmediatamente. Una vez concluido este procedimiento, se debe realizar la exanguinación sin demora. En la figura 2, se representan los intervalos de tiempo necesarios para el sacrificio humanitario según el método de aturdimiento utilizado.

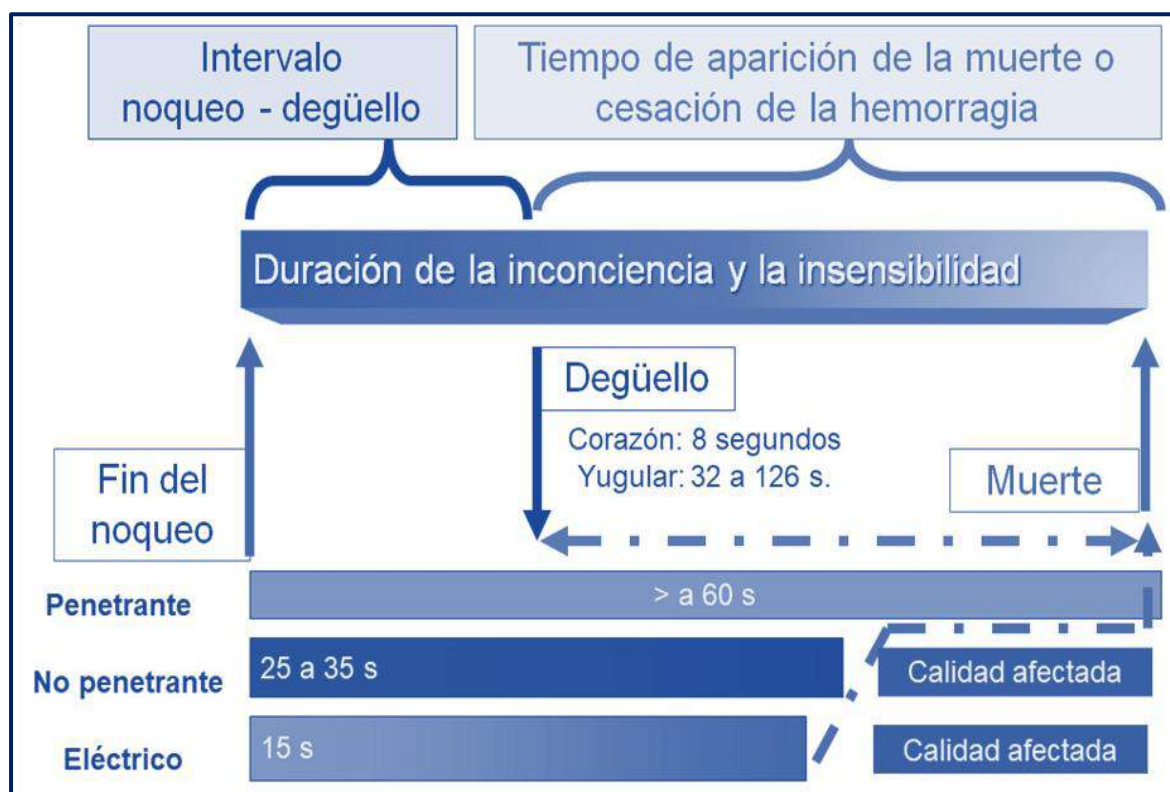


Figura 2. La duración de la inconsciencia y la insensibilidad dependen del método de aturdimiento empleado, de acuerdo a ello se debe ajustar el tiempo para el degüello, el tiempo de noqueo/desangrado debe ser menor a medio minuto para la pistola no penetrante; menor a un minuto para la pistola penetrante y menor a 15 segundos para el aturdimiento eléctrico, con ello se evita comprometer el bienestar animal y la calidad de la carne (HSA, 2006).

Aunque los sistemas de aturdimiento mecánico no presentan ventajas operativas respecto de otros mecanismos utilizados, desde el punto de vista del bienestar animal, su empleo presenta ventajas relacionadas con la calidad de la carne. Sin embargo, también pueden presentarse efectos adversos por el uso de un método de aturdimiento, como la electronarcosis, ya que con un excesivo tiempo de aplicación o con un elevado voltaje se pueden generar fracturas y hemorragias en la canal (Figueroa et al., 2011).

Los signos físicos de un aturdimiento efectivo son: a) El animal cae colapsado, b) La respiración es arrítmica, c) Expresión fija vidriosa en los ojos, d) Sin reflejo en la córnea, e) Mandíbula relajada y f) La lengua le cuelga (Gregory et al., 2007; HSA, 2014).

Con relación a la determinación de los signos de retorno a la sensibilidad, se deben reconocer los signos opuestos a los de un animal insensible. Si bien cada signo por sí solo no es concluyente, la HSA (2006) indica que cualquier animal, con al menos un signo, se considerará consciente y debe ser noqueado nuevamente (Figueroa et al., 2011).

NEUROFISIOLOGÍA DE LA TRANSMISIÓN ASCENDENTE DEL IMPULSO DOLOROSO DESDE LA FORMACIÓN RETICULAR HACIA LA CORTEZA CEREBRAL

El cerebro de los animales es irrigado a través del plexo basi-occipital, además de las arterias carótidas, las cuales suministran sangre a tejidos caudales, (principalmente al lóbulo occipital de la corteza cerebral) y también por las arterias basilares en las que la sangre fluye de manera rostral (Gregory, 2008; Johnson et al., 2015). Durante la matanza, el desangrado se realiza por medio de un corte de las arterias carótidas y venas yugulares o del tronco braquiocefálico, interrumpiendo de este modo el suministro de nutrientes y oxígeno al cerebro, causando con ello, la muerte del animal por choque hipovolémico (Robins et al., 2014; Mota-Rojas et al., 2020b; Guerrero-

Legarreta et al., 2019a). Sin embargo, cuando se realiza el corte de los grandes vasos para el desangrado de los animales y el método de insensibilización no fue efectivo, se llega a ocasionar dolor agudo, debido a que la piel, músculos, arterias, venas y tejido conectivo, están provistos de sensores fisiológicos conocidos como nociceptores, los cuales generan impulsos eléctricos que, a su vez, proporcionan señales al SNC que se reconocen como dolor (Johnson et al., 2015).

El tronco encefálico contiene la información del control del sistema cardiovascular, el aparato respiratorio y el control de la sensibilidad al dolor, además de los estados de vigilia y consciencia. En este último, la formación reticular es necesaria, pero no suficiente para el desarrollo de la consciencia. La información sensorial es transmitida de la formación reticular hacia el tálamo y de éste hacia la corteza cerebral, en donde la sensación de dolor es percibida. Por lo tanto, el principal objetivo de los métodos de aturdimiento es interrumpir la transmisión de la información ascendente de la formación reticular hacia la corteza cerebral (Terlow et al., 2016a; Glardon et al., 2018).

Para poder entender la transmisión de los estímulos dolorosos es necesario hablar de los reflejos, los cuales son movimientos automáticos que son mediados por el SNC como respuesta a determinados estímulos (Carlson, 2007).

Los reflejos centrales están regulados por el tronco encefálico y la médula espinal, mientras que los reflejos del tronco encefálico están regulados por los 12 pares de nervios craneales que entran, mediante ramas aferentes o sensitivas y salen, por medio de ramas eferentes o motoras del cerebro, las cuales no tienen control cortical. Los pares craneales I y II cuyas ramas eferentes o sensitivas entran al cerebro anterior, mientras que los pares craneales del III al XII son ramas mixtas ya que presentan tanto ramas sensitivas que entran y otras motoras que salen del tronco encefálico (Rubin y Safdieh, 2007).

Los reflejos del tronco encefálico que comúnmente se usan para evaluar el grado de consciencia que tiene el animal después del aturdimiento, incluyen: a) el reflejo palpebral, b) el reflejo corneal, c) el reflejo pupilar y d) el reflejo de amenaza (Dugdale, 2010). Los dos primeros requieren del correcto funcionamiento del par craneal V (trigémino) y del VII (facial), así como de los músculos oculares (Adams y Sheridan, 2008).

El reflejo pupilar es regulado por el par craneal II (óptico) y el III (oculomotor), mismo que es evaluado con ayuda de un haz de luz que se aproxima al ojo y se observa la respuesta que tiene la pupila a dicha luz (Figura 3) (Blackman et al., 1986). Finalmente, el reflejo de amenaza es regulado por el par craneal VII (facial) junto con la acción de la corteza motora (Grillner et al., 2008).

SIGNOS DE RETORNO A LA SENSIBILIDAD PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL ATURDIMIENTO

El aturdimiento puede ser reversible o irreversible. En el primer caso, los animales pueden recuperar la sensibilidad antes de que ocurra la muerte. Como ya se mencionó, en la descripción de los intervalos de tiempo necesarios para el sacrificio humanitario, el tiempo entre el aturdimiento y el desangrado es un factor determinante para la eficacia del aturdimiento (Tardio et al., 1999). Por esta razón, es importante señalar que las técnicas de aturdimiento que funcionan para algunos animales, para otros no son recomendables. Por ejemplo, la diferencia en los cráneos de vacas y búfalos hace que el aturdimiento en las vacas se pueda llevar a cabo con pistolas de perno de menos alcance que en el caso de los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*), esto debido a que estos últimos tienen el cráneo más ancho, además de que los huesos y la piel son más duros (Schwenk et al., 2016; Mota-Rojas et al., 2019a,b; Mota-Rojas et al., 2020a,b).

Para asegurar un sacrificio humanitario, los signos de retorno a la sensibilidad deberán estar ausentes y siempre deberán ser monitorizados después del aturdimiento y durante el proceso de desangrado (Gregory et al., 2007).

De acuerdo con Atkinson et al. (2013) y Terlow et al. (2016b), existen signos que orientan al médico veterinario para saber si el aturdimiento ha sido adecuado o inadecuado. Estos signos son detallados en el

Cuadro 1, en el cual se describe que cuando un aturdimiento no es correcto, el animal puede ser propenso a sentir dolor y con ello la calidad de la carne puede verse afectada, además de que se le puede llegar a ocasionar sufrimiento innecesario, afectando así la calidad de la muerte.

Dentro de los indicadores de inconsciencia se citan la ausencia tanto de una respiración rítmica como de los reflejos oculares y tono muscular, además de la falta de rotación ocular e inexistencia de nistagmos, acompañados de una carente respuesta a estímulos dolorosos y los movimientos espontáneos de cuello o patas. Dentro de los indicadores de consciencia se describen la postura de pie, vocalizaciones, parpadeo espontáneo, movimientos oculares y el reflejo de respuesta a la amenaza (Terlow et al., 2016b).

Cuadro 1. Protocolo de la calidad del aturdimiento (CA) y el bienestar animal. Descripción de los signos calificando el riesgo de retorno a la sensibilidad del más alto (3) al más bajo (1) (si el animal muestra alguno de los signos de CA3 o CA2 se considera un aturdimiento inadecuado), (Atkinson et al., 2013).

Calidad del aturdimiento (CA)	Acción	Signo	Definición
CA3	Repetir el aturdimiento de inmediato	No se colapsa	El animal no cae inmediatamente al piso con las 4 patas después del disparo
		Intenta recuperar su postura	El animal intenta pararse o levanta la cabeza
		Vocalización	Se escuchan vocalizaciones o gemidos que no están asociados con el tiempo de exhalación
		Respuesta al dolor	El animal reacciona a estímulos dolorosos tales como pequeños pinchazos en las fosas nasales con un alfiler
		Parpadeo	El animal abre o cierra los párpados lenta o rápidamente sin estimulación
		Reflejo corneal	El animal parpadea lenta o rápidamente en respuesta a estímulos de la córnea
CA2	Repetir el aturdimiento de inmediato	Respiración rítmica	Inhalaciones y exhalaciones rítmicas continuas, pueden ser vistas o se pueden sentir las exhalaciones con la mano
		Rotación completa del globo ocular	El globo ocular rota por lo que la parte rosa de la esclera puede ser vista y el iris no se ve o se aprecia ligeramente
CA1	Monitorizar de cerca y repetir el aturdimiento si dos o más signos son observados	Nistagmos	Movimientos rápidos del globo ocular de forma horizontal
		Ausencia de la fase tónica clónica	Ausencia del tono y de espasmos musculares en todo el cuerpo por arriba de los 20 segundos post aturdimiento
		Rotación parcial del ojo	El globo ocular solo rota a la mitad y solo la mitad del iris es visible
		Gemidos	Estas vocalizaciones pueden ser escuchadas solo a la exhalación y no se repiten
		Levantamiento de la cabeza	La cabeza puede ser levantada hacia arriba cuando el animal está colgado
		Jadeo	Contracción y retracción constante de los labios y apertura o cierre del hocico
		Reacciones de patada	Movimientos de patada y de cuerpo, así como de la cabeza durante el desollado
		Orejas hacia abajo	Orejas apuntando hacia atrás del cuerpo
		Lengua arriba	La lengua es retenida dentro del hocico (no afuera ni colgando).

Existe una variedad de parámetros de comportamiento, fisiológicos, físicos y patológicos que han sido propuestos para evaluar el bienestar animal y las características de manejo del ganado en las plantas de sacrificio. Dentro de los evaluados en el rubro de comportamiento se describen las vocalizaciones, caídas, resbalones, movimientos de oreja, luchas, erizamiento, temblor o que se queden parados sin avanzar.

Dentro de los parámetros fisiológicos a examinar se encuentran los niveles de cortisol, el ayuno, la deshidratación y los índices de miedo y excitación. Dentro de los eventos físicos se han mencionado las hernias, animales caídos, fracturas, lesiones o contusiones. Y finalmente, entre los índices patológicos que se han propuesto están el índice de condición corporal, prevalencia de enfermedades, indicadores inmunológicos y mortalidad (Romero et al., 2013).

En el **Cuadro 2** se mencionan y describen los diferentes reflejos del tronco encefálico y los reflejos espinales que se utilizan para medir el nivel de inconsciencia después del aturdimiento.

Cuadro 2. Reflejos usados para monitorizar el nivel de inconsciencia después del aturdimiento en el ganado (Modificado de Verhoeven et al., 2015).

Presente en el animal que está ¹					
Reflejo	Definición	Consciente	Inconsciente	Proviene de	Observaciones
Reflejo del tronco encefálico	Reflejos originados en el tronco encefálico			Nervios funcionales del tronco encefálico	Estos reflejos pueden estar presentes en animales que están inconscientes, dependiendo del método de aturdimiento. La ausencia de estos reflejos es un indicador de inconsciencia y no pueden ser medidos cuando se producen convulsiones.
Reflejo corneal	Parpadeo involuntario en respuesta a estimulación de la córnea	+ (-)	- (+)	Pares craneales V y VII además de los músculos oculares	Uno de los reflejos usados más comúnmente después del aturdimiento. Es uno de los últimos reflejos que se pierden durante la anestesia. Puede estar presente en aturdimiento eléctrico, pero nunca con perno cautivo. A través de la rama nasociliar de la rama oftálmica del V par craneal el nervio trigémino detecta el estímulo sólo en la córnea, por las fibras aferentes. Mediante las ramas temporal y cigomática del par craneal VII el nervio facial, inicia la respuesta motora por las fibras eferentes.
Reflejo palpebral	Parpadeo involuntario en respuesta cuando se toca el canto medial del ojo	+	-	Pares craneales V y VII además de los músculos oculares	Desaparece antes del reflejo corneal en animales anestesiados. Aquí actúa es la rama oftálmica del trigémino (V par) y el nervio aurículo-palpebral del facial (VII par).
Reflejo pupilar a la luz	Respuesta de la pupila en presencia de luz en la retina	+	-	Pares craneales II y III además de los músculos oculares	De poco valor durante el degüello y la exanguinación porque el aporte sanguíneo a la retina en este periodo es limitado. La dilatación pupilar es considerada un signo de total disfunción cerebral. Puede estar presente en animales paralizados pero conscientes. La actividad pupilar está mediada por una vía AFERENTE (visual) Nervio óptico (par II) y una vía EFERENTE (motora; miosis-midriasis) Nervio oculomotor (par III). La miosis pupilar es la función del esfínter de la pupila, innervado por fibras parasimpáticas. La midriasis es la función del dilatador de la pupila y está controlada por fibras simpáticas provenientes del III par craneal el nervio oculomotor que al salir de la gran hendidura esfenoidal se divide en una rama dorsal y otra ventral; en la rama ventral se incluyen las fibras pupilares que hacen sinapsis en el ganglio ciliar. De allí, a través de las ramas ciliares cortas, se dirigen

					hacia su destino final en el músculo ciliar que actúa sobre el iris y la pupila.
Reflejo de amenaza	de	Parpadeo involuntario o retirada de la cabeza en respuesta a la proximidad de la mano o el dedo cerca del ojo del animal.	+	-	Par craneal VII, músculos oculares y la integración con la corteza motora. No puede ser evaluado cuando los ojos están cerrados.
Reflejos espinales		Reflejos que se originan en la médula espinal.			Requiere una médula espinal funcional pero no forzosamente coordinación cerebral. Ocurren con más intensidad cuando no están inhibidos.
Reflejo retirada por dolor	de por	Retirada de la parte del cuerpo que recibe un estímulo doloroso	+ (-)	- (+)	Es un indicador que sirve para determinar inconsciencia después de cualquier tipo de aturdimiento.
Reflejo podal		Retirada de la pata en respuesta a un pinchazo en la piel del espacio interdigital del animal.	+ (-)	- (+)	Difícil de valorar cuando hay convulsiones. No es fácil medirlo en todas las especies. Más usado en avicultura.
Reflejo enderezamiento	de	Colocar el cuerpo en su posición normal.	+ (-)	- (+)	Difícil de valorar cuando hay convulsiones.

¹ La presencia y ausencia de reflejos se presentan de la siguiente manera: + = presente, - = ausente, (+) = puede estar presente, (-) = puede estar ausente. (Modificado de Verhoeven et al., 2015).

La inconsciencia causada por una interrupción permanente o temporal de la comunicación cerebral, generalmente es evaluada por medio de la observación de indicadores conductuales, que pueden estar relacionados con respuestas internas o estímulos externos (Levitis et al., 2009). Dentro de estas respuestas se pueden incluir los reflejos originados en el cerebro, por ejemplo, los reflejos oculares y pupilares

o los reflejos de retirada por estímulos dolorosos (**Figura 3**) y también los originados en la médula espinal, por ejemplo, los reflejos podales.

Por otro lado, se deben incluir los indicadores conductuales como pueden ser la pérdida de la postura, vocalizaciones o respiraciones rítmicas (**Cuadro 2**) (Verhoeven et al., 2015). Sin embargo, en algunas ocasiones estos indicadores conductuales pudieran no ser específicos, ya que, en un estudio realizado por Miranda et al., (2012), encontraron que el 10% de los animales vocalizaron y solo el 51% de los mismos fueron correctamente insensibilizados mostrando signos de sensibilidad, a pesar de que el 95% de animales colapsaron al primer disparo.

Por ello, los autores recomiendan que los sistemas de sujeción de cabeza deben incluirse como mejoras en las plantas de sacrificio ya que, de este modo, aumentarían la efectividad del método de aturdimiento (Miranda et al., 2012).

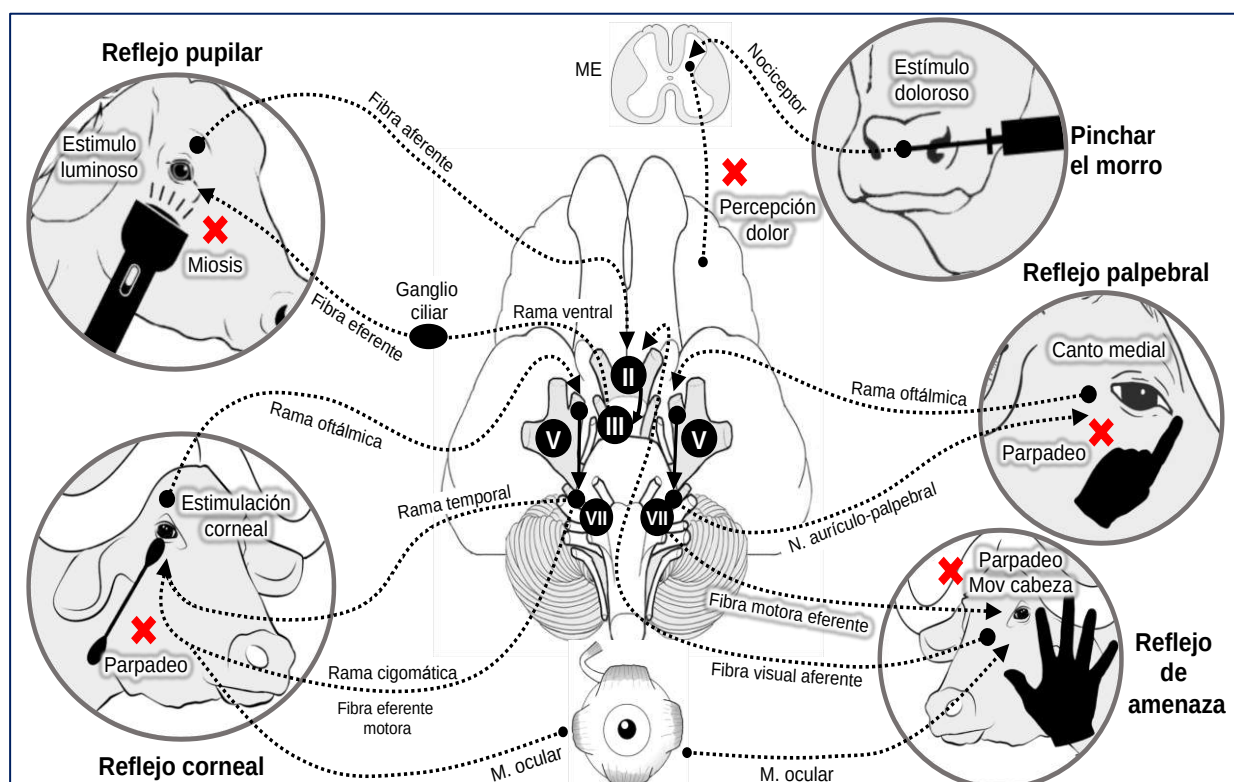


Figura 3. Signos positivos de retorno a la sensibilidad en grandes rumiantes.

(Con información de Verhoeven et al., 2015).

En la **figura 3** se muestra el reflejo ocular en presencia de luz en la retina, llevada a cabo por medio de los pares craneales II nervio óptico (vía aferente) y III nervio oculomotor (vía eferente) y los músculos oculares. Se trata de un reflejo de poco valor durante el degüello y la exanguinación porque el aporte sanguíneo a la retina en este periodo es limitado. La dilatación pupilar es considerada un signo de total disfunción cerebral que puede estar presente en animales paralizados pero conscientes. Por otro lado, el reflejo a un estímulo doloroso es un indicador que sirve para determinar consciencia o inconsciencia después de cualquier tipo de aturdimiento.

Para la evaluación de la insensibilidad o inconsciencia, se ha visto que el uso de la electroencefalografía pudiera ser útil, ya que inmediatamente después del disparo para aturdir a los animales, se observan grandes cambios en el electroencefalograma (EEG) (sobre todo en las ondas delta y theta tendiendo a volverse líneas isoelectricas) ya que se asume que el animal está inconsciente por analogía de las similitudes con el EEG en humanos (EFSA, 2004). En el registro del EEG en animales, se observan ondas relativamente pequeñas que, aumentan su amplitud durante la fase tónica y que disminuyen en frecuencia durante la fase clónica, resultando con ello en un periodo de disminución de la actividad eléctrica (**Figura 4**), tanto en cerdos como, en borregos y vacas (Anil y McKinstry, 1992; Lambooy, 1982). Pero ¿Cómo saber si un animal está aún inconsciente por medio del EEG? La actividad eléctrica en el EEG se clasifica en ondas delta (de 0 a 4 Hz), theta (de 4 a 7 Hz), alfa (de 8 a 13 Hz) y beta (mayores a 13 Hz). Se considera consciente a un animal que aún presenta ritmos alfa y beta (Kooi et al., 1978) y es por ello que el EEG es una herramienta más que pudiera ayudar a evaluar la calidad del aturdimiento.

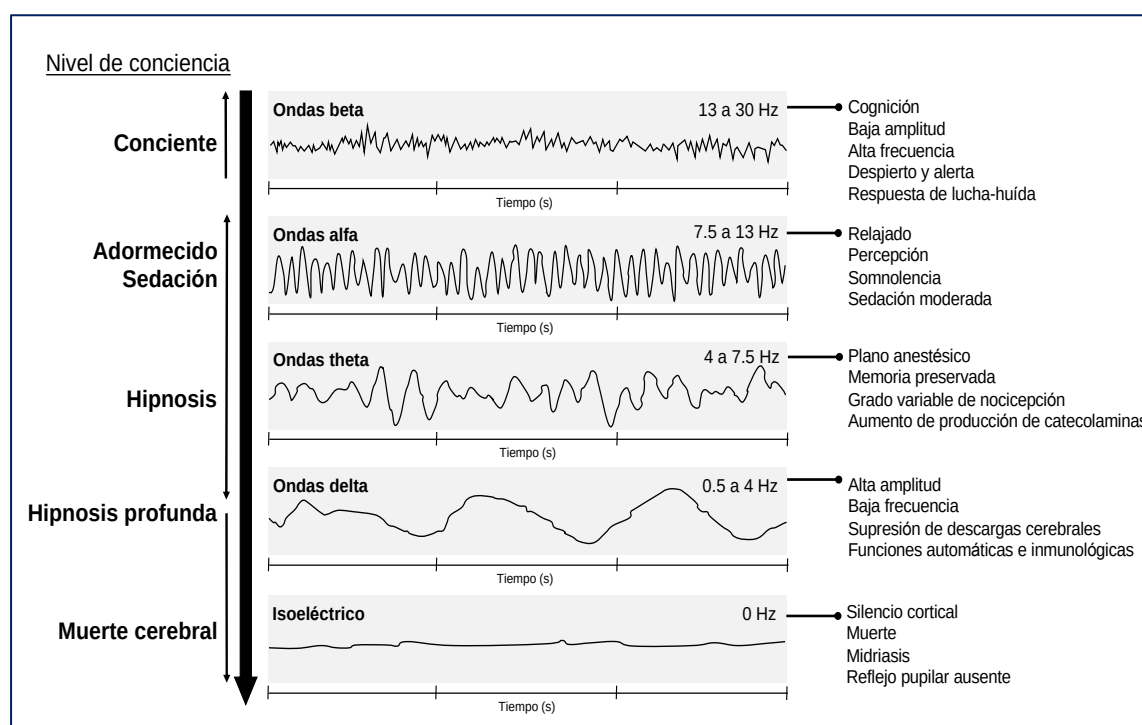


Figura 4. Ondas electroencefalográficas útiles en la evaluación de la insensibilidad o inconsciencia en animales (Modificado de Mota-Rojas et al., 2020a).

¿POR QUÉ EL BÚFALO DE AGUA SE DEBE ATURDIR DE DIFERENTE FORMA QUE UNA RES?

Esto se debe principalmente a las diferencias anatómicas del cráneo entre ambas especies. En el ganado bovino del género *Bos* (*Bos taurus*, *Bos indicus*), el lugar ideal para realizar el disparo con la pistola de perno cautivo para que produzca un aturdimiento efectivo, es la intersección de dos líneas que se dibujan imaginariamente desde la esquina externa del ojo hacia el centro de la base del cuerno opuesto (AVMA, 2019), en la parte frontal, a unos 3 a 5 cm arriba de la intersección de dichas líneas imaginarias (dependiendo de la raza) (Grandin, 2013). Sin embargo, los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*)

tienen algunas diferencias anatómicas en la cabeza cuando se les compara con el ganado. Es por ello que, los modelos de perno cautivo utilizados comúnmente en vacas (*Bos taurus*), en los búfalos (*Bubalus bubalis*) no funcionan adecuadamente y no se produce la pérdida de consciencia ni el aturdimiento necesarios. Esto debido a la profundidad de sus senos frontales, el grosor de su piel y la dureza de sus placas óseas (Schwenk et al., 2016). Se ha visto que tienen huesos frontales más grandes que los vacunos de entre 4-8 cm de grosor (Gregory, 2008).

En consecuencia, las balas libres son potencialmente adecuadas para aturdir búfalos, pero implican riesgos en la seguridad de los operarios (Schwenk et al., 2016). Debido a estas características en el aturdimiento de los búfalos se deben emplear pistolas de perno cautivo de más de 120 mm. Sin embargo, en algunas ocasiones, las pistolas de hasta 125 mm no resultan efectivas y por ello no se consideran adecuadas para el aturdimiento de los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) (Glardon et al., 2018; Meichtry et al., 2018).

Una de las principales diferencias anatómicas en el cráneo de los búfalos y las vacas se observó en un estudio realizado por Alsafy et al. (2013), en dónde hicieron comparaciones por medio de tomografía computarizada del cráneo de los Búfalos Egipcios (*Bubalus bubalis*) con el de ganado vacuno (*Bos taurus*) y encontraron que, en los búfalos, el septo nasal alcanza el piso de la cavidad nasal con la presencia de un

órgano vomeronasal en cada lado del septo nasal, a diferencia del ganado del género *Bos*, en donde el septo no alcanza a tocar el piso de la cavidad nasal formando un canal medio que continua hacia la nasofaringe (Alsafy et al., 2013).

De acuerdo con Gregory et al. (2009), el disparo con la pistola de perno cautivo posicionado en la región frontal puede ser eficaz para aturdir a los búfalos de agua, pero produce un orificio de profundidad superficial, provocando menor conmoción cerebral que el disparo frontal que se realiza en el ganado. De esta manera, deberá ser dirigido hacia la base de la lengua evitando la sección de la médula espinal, donde los autores mencionan que esto puede sólo ocasionar vértigo agudo y ataxia además de la pérdida del equilibrio y con esto no cubren necesariamente el objetivo de aturdir a los animales. Entonces lo ideal, como se muestra en la figura 1 es la aplicación del disparo en la región de la nuca, en la depresión ubicada por debajo de la protuberancia intercornual y por encima de los puntos de la unión del ligamento de la nuca.

CONSIDERACIONES FINALES

Los indicadores de consciencia e insensibilidad son herramientas que permiten evaluar indirectamente la función cerebral y con ello, saber si un proceso de aturdimiento se ha llevado de manera adecuada o no.

Esto sucede cuando los signos de consciencia están ausentes y los de inconsciencia o insensibilidad están presentes.

Dentro de los indicadores más importantes que coadyuvan a evaluar si el aturdimiento fue llevado a cabo de manera correcta se encuentran: la postura corporal o los reflejos de enderezamiento, el ritmo respiratorio, la ausencia de vocalizaciones, así como de los reflejos palpebral y corneal, los cuales deberán estar ausentes si el animal fue correctamente aturdido y quedó inconsciente.

Por tanto, los signos de retorno a la sensibilidad durante la muerte en grandes rumiantes para evaluar la calidad del aturdimiento, se deben determinar y reconocer. Sin embargo, cada una de estas observaciones por sí sola no determina la calidad del aturdimiento, por lo que cualquier especie animal con al menos un signo de retorno a la sensibilidad, se considerará consciente y debe ser aturdido nuevamente. En este sentido, es sumamente importante realizar métodos de aturdimiento y sacrificio que permitan la insensibilidad durante todo el proceso para de este modo evitar el dolor innecesario durante la muerte de los grandes rumiantes.

Por otra parte, la elección del sistema de insensibilización y su empleo en los búfalos de agua, debe estar adecuado a la conformación corporal, características anatómicas de la especie y categoría del animal, por lo que es recomendable el mantenimiento regular de los

dispositivos según las instrucciones del fabricante, además de que la técnica deberá efectuarse por una persona capacitada.

Finalmente, comentar que el método de aturdimiento es una etapa crítica durante la matanza de reses y búfalos destinados al consumo humano, el cual puede afectar el bienestar animal si no se realiza en la posición anatómica recomendada, con el equipo necesario y capacitación adecuada del operario.

REFERENCIAS

- Adams, D.B., Sheridan, A.D. 2008. Specifying the risks to animal welfare associated with livestock slaughter without induced insensibility.
<http://www.australiananimalwelfare.com.au/app/webroot/files/upload/files/animal-welfare-livestock-slaughter.pdf>
- Alarcón-Rojo, A.D., Duarte-Atondo, J.O., 2006. Músculo PSE y DFD en Cerdo. In: Hui YH, Guerrero-Legarreta I, Rosmini RM, editors. Book "Meat science and technology. México D. F.: LIMUSA, Noriega Editores; 2006. p. 634.
- Alarcón-Rojo, A., Mota-Rojas, D., García-Galicia, I., Cruz-Monterrosa, R., Ramírez-Bribiesca, E., Olmos-Hernández, A., Guerrero-Legarreta, I., 2020. Dark cutting in river buffalo: Effect of management and environmental factors. *Agroproductividad* 13, 93-98.
<https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1927>

- Alsafy, M.M.A., El-Gendy, S.A.A., El Sharaby, A.A. 2013. Anatomic Reference for Computed Tomography of Paranasal Sinuses and Their Communication in the Egyptian Buffalo (*Bubalus bubalis*). *Anat. Histol. Embryol.* 42, 220-231.
- Anil, M.H., McKinstry, J.L. 1992. The effectiveness of high frequency electrical stunning of pigs. *Meat Sci.*, 31, 481-491.
- Appelt, M., Sperry, J. 2007. Stunning and killing cattle humanely and reliably in emergency situations: a comparison between a stunning-only and a stunning and pithing protocol. *Can. Vet. J.* 48, 529-534.
- Atkinson, S., Valverde, A., Algers, B. 2013. Assessment of stun quality at commercial slaughter in cattle shot with captive bolt. *Anim. Welfare* 22, 473-481.
- AVMA. 2019. American Veterinary Medical Association guidelines for the euthanasia of animals. <https://www.avma.org/resources-tools/avmapolicies/avma-guidelines-euthanasia-animals>
- Barros A., Castro L., 2004. Buenas Prácticas Operacionales. Serie Técnica N° 34. Instituto Nacional de Carnes de Uruguay. INAC. Montevideo, Uruguay. https://www.inac.uy/innovaportal/file/2623/1/inac_ba_bpo.pdf
- Blackman, N., Cheetham, K., Blackmore, D. 1986. Differences in blood supply to the cerebral cortex between sheep and calves during slaughter. *Res. Vet. Sci.* 40, 252-254.

- Blackmore, D.K. 1984. Differences in behaviour between sheep and cattle during slaughter. *Res.Vet. Sci.*, 37, 223-226.
- Bornett-Gauci, H.L.I., Martin, J.E., Arney, D.R. 2006. The welfare of low-volume farm animals during transport and at slaughter: a review of current knowledge and recommendations for future research. *Anim. Welfare*, 15, 299-308.
- Brown, R.E., Basheer, R., McKenna, J.T., Strecker, R.E., McCarley, R.W. 2012. Control of sleep and wakefulness. *Physiol. Rev.*, 92, 1087-1187.
- Bruckert, M. 2019. Protéger et abattre les bovins au pays de la «vache sacrée» usages symboliques, politiques et économiques des vaches et des buffles dans l'Inde contemporaine. *Anthropoz.* 53, 207-222.
- Carlson, N.R. 2007. *Physiology of behavior*. Pearson Education Inc., Boston, MA, USA. P. 752.
- Cruz-Monterrosa, R.G., Mota-Rojas, D., Ramírez-Bribiesca, E., Mora-Medina P., Guerrero-Legarreta I., 2020. Scientific findings on the quality of river buffalo meat and it's prospects for future studies. *J. Buffalo Sci.* 9, 170-180. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.18>
- Damasio, A. 2010. *Self comes to mind*. New York, New York: Pantheon
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2015. NORMA Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. SEGOB

- Dugdale, A. 2010. Veterinary anaesthesia: principles to practice. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK.
- European Food Safety Authority (EFSA). 2004. AHAW/04-027. Welfare aspects of stunning and killing methods. Scientific Report of the Scientific Panel for Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to welfare aspects of animal stunning and killing methods (Question N° EFSA-Q-2003-093) Report AHAW/04-027, 24.
- European Food and Safety Authority (EFSA). 2006. The welfare aspects of the main systems of stunning and killing applied to commercially farmed deer, goats, rabbits, ostriches, ducks, geese and quail. EFSAJ 326, 1-18.
- Farouk, M.M. 2013. Advances in the industrial production of halal and kosher red meat. Meat Sci., 95(4), 805-820.
- Fike, K., Spire, M. 2006. Transportation of cattle. Vet. Clin. North Am.: Food Animal Practice, 22, 305-320.
- Ghezzi, M. D.; 2017. "BIENESTAR ANIMAL: su impacto en la cadena de bovinos para carne". Jornadas Internacionales de Veterinaria práctica. 10° Edición. Organizada por el Colegio de Veterinarios de la Provincia de Buenos Aires. <http://cvpba.org/wp-content/uploads/2017/10/BromatologiaGhezzilImportancia1.pdf>
- Figueroa M., Muñoz D., Gallo C.M. 2011. Actualización: Insensibilización del ganado bovino en Chile. Boletín Veterinario Oficial, BVO N°14.

- Gibson, T.J., Whitehead, C., Taylor, R., Sykes, O., Chancellor, N.M., Limon, G. 2015. Pathophysiology of penetrating captive bolt stunning in Alpacas (*Vicugna pacos*). Meat Sci., 100, 227-231.
- Glardon, M., Schwenk, K.B., Riva, F., von Holzen, A., Ross, G.S., Kneubuehl, P.B., Stoffel, H.M. 2018. Energy loss and impact of various stunning devices used for the slaughtering of water buffaloes. Meat Sci., 135, 159-165.
- Grandin, T. 2002. Return to sensibility problems after penetrating captive bolt stunning of cattle in commercial beef slaughter plants. J.Am. Vet. Med. Assoc., 221, 1258-1261.
- Grandin, T. 2013. Recommended animal handling guidelines and audit guide: A systematic approach to animal welfare. AMI Foundation.
- Gregory, N.G. 2008. Animal welfare at markets and during transport and slaughter. Meat Sci, 80, 2-11.
- Gregory, N.G., Lee, C.J., Widdicombe, J.P. 2007. Depth of concussion in cattle shot by penetrating captive bolt. Meat Sci., 77, 4, 499-503.
- Gregory, N.G., von Wenzlawowicz, M., Alam, R.M., Anil, M.H., Yesildere, T., Silva-Fletcher, A. 2008. False aneurysms in carotid arteries of cattle and water buffalo during shechita and halal slaughter. Meat Sci., 79, 285-288.
- Gregory, N.G., Fielding, H.R., von Wenzlawowicz, M., von Holleben, K. 2010. Time to collapse following slaughter without stunning in cattle. Meat Sci., 85, 66-69.

- Gregory, N.G., Spence, Y.J., Mason, W.C., Tinarwo, A., Heasman, L. 2009. Effectiveness of poll stunning water buffalo with captive bolt guns. *Meat Sci.*, 81, 178-182.
- Grillner, S., Wallén, P., Saitoh, K., Kozlov, A., Robertson, B. 2008. Neural bases of goal-directed locomotion in vertebrates: an overview. *Brain Res. Rev.* 57, 2-12.
- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. 2019a. El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales. Segunda edición. México, Editorial BM Editores. Enero, 2019. Ciudad de México. p.p. 1-881. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>
- Guerrero-Legarreta, I., Rosmini, R., Mota-Rojas, D., Fernández-López, J., Cruz-Monterrosa, R., Pérez-Álvarez, J.A., 2019b. Capítulo 22. Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua. En: Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., & Orihuela, A. (Ed.), *El búfalo de agua en las Américas*. México. BM Editores. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>
- Guerrero-Legarreta, I., Strappini, A., Mota-Rojas, D., García, I., Ramírez, B.E., Ghezzi, D.M, Cruz-Monterrosa, R., Lázaro de la Torre, C. Mora-Medina, P., Olmos, A.; Lemus, F.C., Gutiérrez, Q., Olvera, L., Flores, P.S., Alarcón-Rojo, A., 2019c. Capítulo 21. Manejo previo a la muerte y calidad de la carne del búfalo. En:

Guerrero-Legarreta, I.; Napolitano, F.; Mota-Rojas, D.; Orihuela, A. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 714-758), Segunda edición. México, BM Editores. México. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Cruz-Monterrosa, R., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Ramírez-Bribiesca, E., Bertoni, A., Berdugo-Gutiérrez, J., & Braghieri, A., 2020a. River buffalo meat production and quality: sustainability, productivity, nutritional and sensory properties. J. Buffalo Sci. 9, 159-169. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.17>

Guerrero-Legarreta, I., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., 2020b. Capítulo 6. El búfalo de agua productor de carne por el mundo: indicadores productivos y sanitarios. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (192-224), Segunda edición. México, BM Editores. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Hemsworth, P.H., Fisher, A.D., Mellor, D.J., Johnson, C.B. 2009. A scientific comment on the welfare of sheep slaughtered without stunning. Retrieved, 14, 2013, <http://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.au>

straliananimalwelfare.com.au%2Fapp%2Fwebroot%2Ffiles%2Fupload%2Ffiles%2Fwelfare-sheep-slaughter.pdf&ei=LO7hU4vIDYbcOvW_gKAJ&usg=AFQjCNEq52FDxL5rrarLsM3I_pF42qByw&bvm=bv.72197243,d.ZWU

- HSA. 2006. Humane Slaughter Association. Insensibilización del Ganado con Pistola Neumática de Perno Cautivo. Humane Slaughter Association. 4a ed, Wheathampstead, UK. pp: 1-13.
- HSA. 2014. Humane Slaughter Association (HSA). 2014. Aturdimiento de animales por perno cautivo. The Old School, Brewhouse Hill, Wheathampstead, Herts, Reino Unido.
- Irurueta, M., Cadoppi A., Langman, L., Grigioni, G., Carduza, E. 2008. Effect of aging on the characteristics of meat from water buffalo grown in the Delta del Paraná region of Argentina. *Meat Sci.*, 79, 529-533.
- Johnson, C.B., Mellor, D.J., Hemsworth, P.H., Fisher, A.D. 2015. A scientific comment on the welfare of domesticated ruminants slaughtered without stunning. *N. Z. Vet. J.*, 63, 58-65.
- Kandeepan, G., Mendiratta, S.K., Shukla, V., Vishnuraj, M.R. 2013. Processing characteristics of buffalo meat- A review. *J. Meat Sci. Technol.*, 1, 1-11.
- Kooi, K.A., Tucker, R.P., Marshal, R.R. 1978. *Fundamentals of electroencephalography* (Second ed.). New York: Harper and Row, pp. 125-145.
- Lambooy, E. 1982. Electrical stunning of sheep. *Meat Sci.*, 6, 123-135.

- Laureys, S. 2005. The neural correlate of (un)awareness: Lessons from the vegetative state. *Trends Cognit. Sci.*, 9, 556-559.
- Levitis, D.A., Lidicker, W.Z., Freund, G. 2009. Behavioural biologists do not agree on what constitutes behaviour. *Anim. Behav.* 78, 103-110.
- Meichtry, C., Glauserb, U., Glardonc, M., Rossd, G.S., Lechnere, I., Kneubuehlc, P.B., Gaschod, D., Spadavecchiaf, C., von Rotza, A., Stojiljkovica, A., Stoffel, H.M. 2018. Assessment of a specifically developed bullet casing gun for the stunning of water buffaloes. *Meat Sci.*, 135, 74-78.
- Miranda, G.C., Leyva, I.G., Barreras-Serrano, A. 2012. Assessment of cattle welfare at a commercial slaughter plant in the northwest of Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.*, 44, 497-504.
- Mota-Rojas, D., Becerril-Herrera, M., Gay, J. F. R., Lemus, F. C., Alonso, S. M. L., Ramírez, N.R., 2005. Calidad de la carne, salud pública e inocuidad alimentaria. México: Universidad Autónoma Metropolitana Serie Académicos CBS No. 52. 353 pp.
- Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I., Trujillo, O.M.E., 2010a. Bienestar animal y calidad de la carne. BM Editores. México. p.361.
- Mota-Rojas, D., Alarcón-Rojo, A.D., Vázquez GG., Guerrero-Legarreta, I., 2010b. Músculo oscuro firme y seco en bovinos, mecanismos involucrados. En: Bienestar animal y calidad de la carne. BM Editores. México. p. 271-286.

- Mota-Rojas, D., Velarde, A.; Huertas-Canén, S.M., Cajiao-Pachón, M.N., 2016. Bienestar animal, una visión global en Iberoamérica. 3ra. Edición. Elsevier. Barcelona, España. p. 516.
- Mota-Rojas, D., Ghezzi, D.M, Rosmini, M.R., Thielo de la Vega, L., Hernández-Avalos, I., Cajiao, M.N., Ciocca, J.R., Lezama-García, K., Lemus-Flores, C., Guerrero Legarreta, I., 2019a. Capítulo 19. Signos y reflejos de sensibilidad durante la muerte en búfalos y reses para evaluar la calidad del aturdimiento. En: Guerrero-Legarreta, I.; Napolitano, F.; Mota-Rojas, D.; Orihuela, A. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 631-662), Segunda edición. México, BM Editores. México. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>
- Mota-Rojas, D., Strappini, A., Ghezzi, D.M, Hernández-Avalos, I., Rosmini, M.R., Miranda, A., Napolitano, F., Casas, A., Lezama, G.K., Guerrero-Legarreta, I., Ciocca, J., Thielo de la Vega, L., 2019b. Capítulo 20. Calidad de la muerte en búfalos y reses. En: Guerrero-Legarreta, I.; Napolitano, F.; Mota-Rojas, D.; Orihuela, A. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 663-711), Segunda edición. México, BM Editores. México. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

- Mota-Rojas, D., Ghezzi, M.D., Napolitano, F., Rosmini, M., Guerrero Legarreta, I., Martínez-Burnes, J., Lezama-García, K., Miranda-Cortés, A., Thielo de la Vega, L., Mora-Medina, P., Hernández-Ávalos, I., 2020a. Quality of death in the river buffalo (*Bubalus bubalis*). J. Anim. Behav. Biometeorol. 9, 2115. <https://doi.org/10.31893/jabb.21015>
- Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Strappini, A., Orihuela, A., Ghezzi, D.M., Hernández-Ávalos, I., Mora-Medina, P., Whittaker, A., 2020b. Pain at slaughter in ruminants with a focus on the neurobiology of sensitisation. Animals 2020, 11. <https://www.mdpi.com/search?authors=mota-rojas&journal=animals>
- Rubin, M., Safdieh, J.E. 2007. Netter's concise neuroanatomy. Saunders, Elsevier, Philadelphia, USA.
- Organización Mundial de Sanidad Animal –OIE–. 2012. Código Sanitario para los animales terrestres. Título 7. Bienestar de los animales. Disponible en: http://oie.int/esp/normes/mcode/E_summry.htm
- Robins, A., Pleiter, H., Latter, M., Phillips, C.J.C. 2014. The efficacy of pulsed ultrahigh current for the stunning of cattle prior to slaughter. Meat Sci., 96, 1201-1209.
- Romero, P.M.H., Uribe-Velásquez, L.F., Sánchez, V.J.A. 2013. Indicadores conductuales y signos de sensibilidad usados para evaluar el bienestar animal durante el sacrificio de bovinos. Vet.Zoot., 7(2), 8-27.

- Schwenk, B.K., Lechner, I., Ross, S.G., Gascho, D., Kneubuehl, B.P., Glardon, M., Stoffel, M.H. 2016. Magnetic resonance imaging and computer tomography of brain lesions in water buffaloes and cattle stunned with handguns or captive bolts. *Meat Sci.*, 113, 35-40.
- Spanghero, M., Gracco, L., Valusso, R., Piasentier E. 2004. In vivo performance, slaughtering traits and meat quality of bovine (Italian Simmental) and buffalo (Italian Mediterranean) bulls. *Livestock Prod. Sci.*, 91, 129-141.
- Tardio, N.M., Valls, C.N., Sousa M.N., Obaya, F.A. 1999. Aturdimiento y Sacrificio
[https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/1999/80170/aturdimientoy sacrificio.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/1999/80170/aturdimientoy_sacrificio.pdf)
- Terlouw, E.M.C., Arnould, C., Auperin, B. 2008. Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: current status and possible future research. *Animal*, 2, 1501-1517.
- Terlow, E.M.C., Bourguet, C., Deiss, V. 2016a. Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part I. Neurobiological mechanisms underlying stunning and killing. *Meat Sci.*, 118, 133-146.
- Terlow, E.M.C., Bourguet, C., Deiss, V. 2016b. Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part II. Evaluation methods. *Meat Sci.*, 118, 147-156.

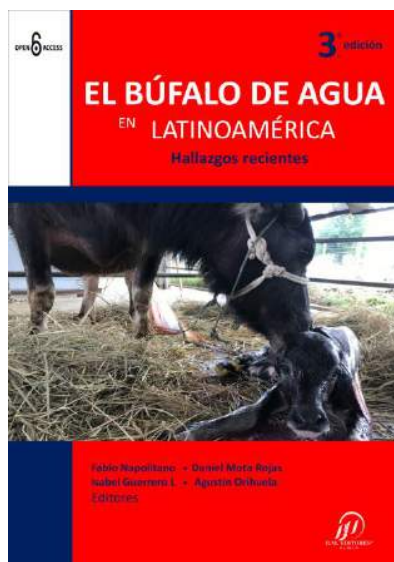
- Verhoeven, M.T.W., Gerritzen, M.A., Hellebrekers, L.J., Kemp, B. 2015. Indicators used in livestock to assess unconsciousness after stunning: a review. *Animal*, 9, 320-330.
- Zeman, A. 2001. Consciousness. *Brain: J.Neurol.*, 124, 1263-1289.
- Zivotofsky, A.Z., Strous, R.D. 2012. A perspective on the electrical stunning of animals: Are there lessons to be learned from human electro-convulsive therapy (ECT)? *Meat Sci.*, 90, 956-961.



CAPÍTULO 26

¿CÓMO EVALUAR LA CALIDAD DE LA MUERTE EN BÚFALOS Y RESES? ASPECTOS NEUROBIOLÓGICOS

Daniel Mota-Rojas, Ana Strappini, Marcelo Daniel Ghezzi, Ismael Hernández-Ávalos, Marcelo R. Rosmini, Efrén Ramírez-Bribiesca, Agatha Miranda-Cortés, Rosy Cruz-Monterrosa, Alejandro Casas-Alvarado, Adolfo Rayas-Amor, Isabel Guerrero Legarreta, Karina Lezama-García, Fabiola Torres-Bernal, Jocelyn Gómez-Prado, Gisela López-Gerardo, Joseline Jacome-Romero, Fabio Napolitano



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 26

¿Cómo evaluar la calidad de la muerte en búfalos y reses? Aspectos neurobiológicos

Daniel Mota-Rojas¹, Ana Strappini², Marcelo Daniel Ghezzi³, Ismael Hernández-Ávalos⁴, Marcelo R. Rosmini⁵, Efrén Ramírez-Briebesca⁶, Agatha Miranda-Cortés⁴, Rosy Cruz-Monterrosa⁷, Alejandro Casas-Alvarado¹, Adolfo Rayas-Amor⁷, Isabel Guerrero Legarreta⁸, Karina Lezama-García¹, Fabiola Torres-Bernal¹, Jocelyn Gómez-Prado¹, Gisela López Gerardo¹, Joseline Jacome Romero¹, Fabio Napolitano⁹

¹Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.

²Instituto de Ciencia Animal. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

³Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

⁴Departamento de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, FESC. Estado de México, México.

⁵Departamento de Salud Pública Veterinaria. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Litoral. Esperanza, Provincia de Santa Fe, Argentina.

⁶Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.

⁷Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-L. Lerma. México.

⁸Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-I. Ciudad de México. México.

⁹Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

INTRODUCCIÓN

La percepción de dolor durante la matanza en los animales ha sido motivo de discusión, ya que es un hecho evitable y que puede verse favorecido por una deficiente técnica de aturdimiento, lo que trae como consecuencia el dolor severo, lesiones en la canal (Strappini, 2010; Strappini et al., 2013) y el deterioro de la calidad de la carne (Mota-Rojas et al., 2005; Johnson et al., 2012, Teke et al., 2014; Shearer, 2018; Guerrero-Legarreta et al., 2020; Mota-Rojas et al., 2020a,b).

Otro factor que puede influir en la presentación del dolor o la sensibilización del mismo previo a la muerte, es el empleo de arreadores eléctricos o picana eléctrica, marcaje con hierro caliente y los traumatismos ocasionados con palos o tubos que originan lesiones que producen dolor (Strappini et al., 2013; Mota-Rojas et al., 2005, 2010a,b; 2016), los cuales pueden llevar a la sobre-estimulación de los nociceptores, acarreando fenómenos de sensibilización central y periférica, provocando con ello que los animales perciban una mayor intensidad de dolor generando en su caso alodinia e hiperalgesia (Ellison, 2017; Bell, 2019; Mota-Rojas et al., 2019a,b; Hernández-Avalos et al., 2020).

El uso de métodos de aturdimiento más precisos que conduzcan a la insensibilización efectiva durante el sacrificio ha sido motivo de discusión, ya que probablemente los métodos mecánicos, como la pistola de perno cautivo penetrante, puede tener problemas técnicos importantes que afecten la calidad en el aturdimiento (Gibson et al., 2015), en comparación con el uso de una descarga de corriente ultra alta, la cual ha demostrado ser más efectiva (Hui et al., 2006; Alarcón et al., 2006; Mota-Rojas et al., 2006; Becerril-Herrera et al., 2009; Mota-Rojas et al., 2010a,b; Robins et al., 2014; Mota-Rojas et al., 2012; Dalmau y Velarde, 2016).

El hecho de realizar un adecuado aturdimiento del animal, evita en este la percepción del corte en la piel de la región del cuello y la posterior exanguinación. Sin embargo, se ha sugerido que este evento debe ser preciso con el uso de un cuchillo con suficiente filo (Imlan et

al., 2020), ya que de lo contrario podría generar una elevación de la concentración de glucocorticoides y catecolaminas, afectando el potencial glucolítico *postmortem* y disminuyendo con ello el pH de la canal (Teke et al., 2014; Hui et al., 2006).

De igual manera, cuando se realiza el corte del tejido blando, de las arterias carótidas y venas yugulares, se produce la activación de una gran cantidad de nociceptores (Imlan et al., 2020), que acentúan la respuesta nociceptiva. Afortunadamente, la OIE ha hecho cambios que favorecen tanto el nivel de bienestar animal promoviendo la calidad de vida, como la calidad de la muerte, certificando en este caso que los individuos se encuentren libres de dolor durante el sacrificio humanitario en la industria de la carne (OIE, 2012, 2019). Además, se ha buscado disminuir el estrés y dolor durante las diferentes etapas *antemortem* (embarque, transporte, desembarque, arreo, ayuno, estancia en corrales de espera en rastro) (Wigham et al., 2018).

Por lo anterior, el objetivo del presente capítulo es discutir y analizar los hallazgos científicos relacionados con la neurobiología del dolor *antemortem*, así como, el empleo de métodos dolorosos durante el manejo previo a la matanza y las consecuencias de una mala insensibilización o nulo aturdimiento en grandes rumiantes especialmente el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) y el bovino del género *Bos* (Res) durante el sacrificio religioso Halal, Shechita y Kosher.

1. NEUROBIOLOGÍA DEL DOLOR ANTEMORTEM

Los animales luego de ser aturdidos (**Figura 1A**), deben permanecer insensibilizados durante todo el proceso de sacrificio, inclusive durante el desangrado (**Figura 1 B**), hasta que sobreviene la muerte. Mientras el animal permanece con pérdida de la consciencia; si bien los nociceptores de dolor y estrés realizan la transducción del estímulo nocivo, se encuentra inhibida la transmisión nerviosa ascendente y el cerebro al no recibir dicho estímulo no puede percibir el dolor.



Figura 1. Colapso y exanguinación en bovinos. A. Se observa que el aturdimiento correcto produce el colapso del animal. B. Exanguinación profusa, que induce a la muerte por choque hipovolémico

Durante el proceso de matanza se ha sugerido que el ganado bovino, específicamente el *Bubalus bubalis*, puede experimentar dolor durante 60 segundos o más antes de lograr la inconsciencia (Johnson et al.,

2012). Este fenómeno es similar a lo observado en el ganado comercial *Bos indicus*, en el cual se emplea un corte extenso y profundo de los tejidos blandos del cuello junto con los principales vasos sanguíneos, en donde existen una serie de fibras nociceptivas que al activarlas generan un raudal de impulsos sensoriales (Imlan et al., 2020).

Debido a estos estímulos, la percepción del dolor será inevitable; a pesar de que el creciente interés en el bienestar animal no acepta bajo ninguna circunstancia que los animales perciban dolor durante la muerte.

Pero para un mayor entendimiento de la percepción del dolor durante este evento, es necesario mencionar los componentes que la constituyen. El primero de ellos es la transducción, que corresponde a la transformación de los estímulos nocivos (térmicos, químicos o mecánicos), en un impulso eléctrico (Ellison, 2017), generado por los nociceptores presentes en la piel, músculos, huesos y vísceras (Bell, 2018).

En la **Figura 2**, se resumen los eventos nociceptivos y la neuroanatomía funcional de la percepción del dolor durante el sacrificio. Al cortar la piel, los tejidos y los vasos sanguíneos del cuello (vena yugular y arteria carótida) para provocar la exanguinación, se induce un **estímulo nocivo** que activa una variedad de receptores denominados nociceptores, los cuales producen el primer estadio funcional; la **transducción** del dolor, proceso por el cual el estímulo nocivo es convertido en una señal eléctrica en los nociceptores.

A partir del cual se produce el segundo estadio, la **transmisión** de la señal nociceptiva, donde la información es transmitida a la médula espinal, luego al tálamo y finalmente a la corteza cerebral.

Cuando el estímulo nervioso llega al asta dorsal de la médula espinal, se produce la **modulación** con integración de la respuesta nociceptiva, proceso por el que la transmisión es atenuada, fenómeno que se puede producir en distintos niveles.

La transmisión continúa por las vías ascendentes (espino-encefálicas) de la médula espinal hasta alcanzar los centros de relevo neuronal responsables de aspectos de la experiencia del dolor y estrés, como el **Núcleo de la médula rostro-ventral (dolor y temperatura)**, **Núcleo del puente (tacto y presión)**, **Núcleo del mesencéfalo (propiocepción)**, estos centros superiores responsables de aspectos relacionados con la experiencia del dolor pueden activar los sistemas de retroalimentación denominado **Sistema modulador descendente**.

El estadio final es la **percepción**, donde ocurre la integración de la nocicepción en **el Tálamo** (Percepción consciente y localización del dolor, regulación de la conducta emocional) y la **Amígdala** (Miedo, agresión e identificación del peligro) y por último la **corteza cerebral**, el neopallio en particular el área sensitiva donde se percibe como **dolor**.

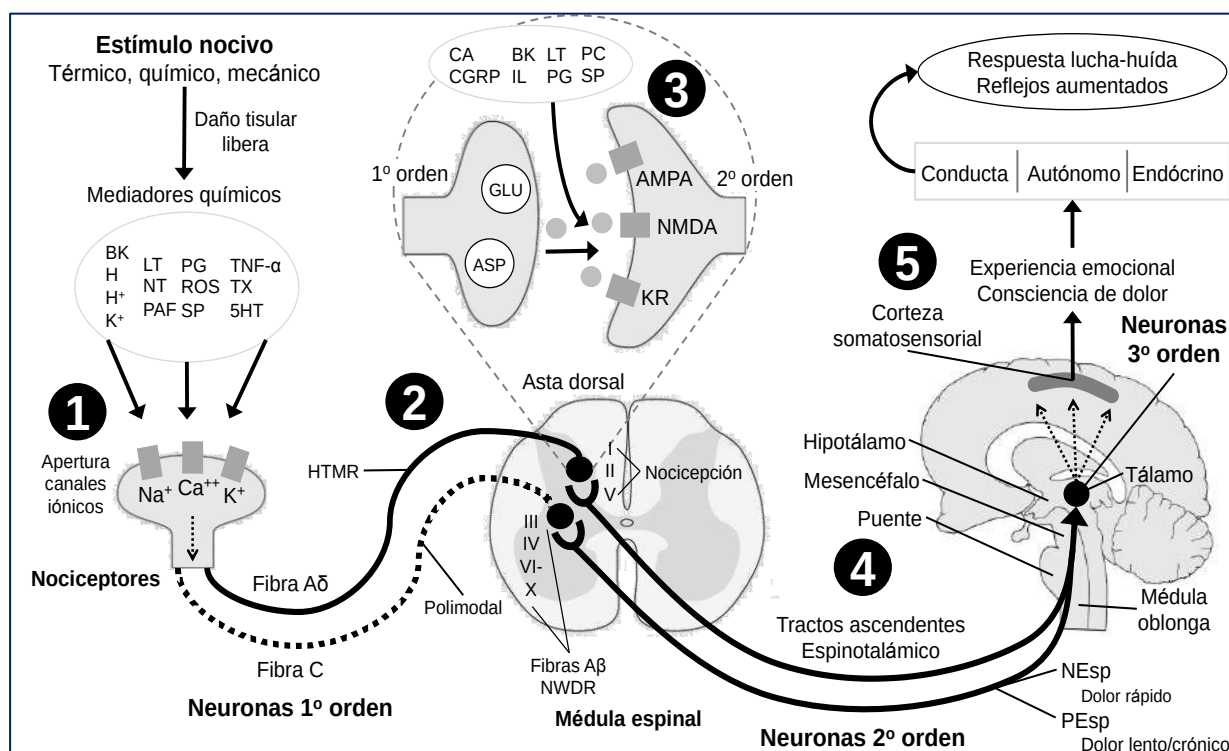


Figura 2. Proceso neurofisiológico de la nocicepción (Modificado de Hernández-Avalos et al., 2019; Mota-Rojas et al., 2020a,b; Hernández-Avalos et al., 2020). Se señalan los estadios funcionales y los principales centros de relevo neuronal hasta llegar a la integración consciente del dolor en la corteza cerebral o neopallio. 1: Transducción; 2: Transmisión; 3: Modulación; 4: Proyección; 5: Percepción; AMPA: receptor ácido- amino-3-hidroxil-5-metil-4-isoxazol-propionato ; NMDA: receptor N-metil-D-aspartato; NWDR: neuronas de amplio rango dinámico; NEsp: Neoespinalámico; PEsp: Paleoespinalámico ; ASP: aspartato; BK: bradicinina; CA: catecolaminas; CGRP: péptido relacionado al gen de la calcitonina; GLU: glutamato; H: histamina; HTMR: mecanorreceptores de umbral alto; IL: interleucinas; KR: receptor de kainato; LT: leucotrienos; NT: neurotrofinas; PAF: factor activador de plaquetas; PC: prostaciclina; PG: prostaglandinas; ROS: radicales libres; SP: sustancia P; TNF: factor de necrosis tumoral; TX: tromboxanos; 5HT: serotonina.

Entonces el primer estadio del estímulo doloroso, es la transducción de los nociceptores que genera la apertura de los canales iónicos de Ca^{2+} , K^{+} o Na^{+} , generando los impulsos eléctricos que se transmiten a través de los axones neuronales, transmitiendo la señal nociceptiva a

la médula espinal, tronco encefálico, tálamo y corteza (Dinakar y Stillman, 2016).

En este sentido, Imlan et al. (2020), con el objetivo de evaluar los efectos del filo del cuchillo sobre los parámetros bioquímicos, catecolaminas plasmáticas y la respuesta electroencefalográfica (EEG), estudiaron a novillos cruza Brahman, en los que se realizó el degüello en un sacrificio religioso estilo Halal, es decir, sin aturdimiento previo, donde estos autores lograron identificar que hubo un incremento significativo de los niveles de adrenalina, glucosa, creatina-cinasa (CK) y lactato deshidrogenasa post-sacrificio, cuando se usó el cuchillo comercial en comparación del cuchillo afilado que fue medido con la prueba de ANAGO[®].

Ahora bien, en el EEG se observó un incremento significativo en la frecuencia media y potencia total en los animales donde se usó un cuchillo comercial. Demostrando con ello que, cuando se usa un cuchillo con afilado comercial, los animales experimentan mayor cantidad de dolor y estrés. Esto confirma que cuando se realiza el degüello en animales sin aturdimiento, los estímulos nocivos son percibidos de manera integral en la corteza cerebral y en la formación reticular (Gardon et al., 2018).

Por el contrario, se ha observado en pollos de engorde que cuando se realiza el sacrificio halal con un aturdimiento previo con descarga eléctrica, el incremento de las catecolaminas y el cortisol es insignificante (Zulkifli et al., 2019). Lo cual demuestra de nuevo que, el

uso del método de insensibilización reduce de manera significativa la transducción, transmisión y percepción del dolor durante el sacrificio. Esto podría reafirmar la idea de que al usar una técnica efectiva de aturdimiento junto con un degüello rápido, se evita la generación de una estimulación o sobre estimulación de los nociceptores, producto de un método lento o inadecuado, lo que en su caso podría ocasionar una sensibilización de los nociceptores (Mota-Rojas et al., 2010a,b; Ossipov et al., 2010; Ellison, 2017). Así, cuando estas estructuras se estimulan directamente, se liberan varias sustancias químicas, tales como la histamina, bradicinina, acetilcolina, serotonina y la sustancia P, las cuales activan más nociceptores, por lo cual es importante controlarlas con la finalidad de disminuir el potencial de acción denominado como sensibilización periférica (**Figura 3**), que en consecuencia generará una mayor percepción de dolor durante la fase final de la muerte (Woolf, 2004; Basbaum et al., 2009).

Con todo lo anterior, se corrobora que con el uso de un método de aturdimiento efectivo y la elección adecuada del sitio anatómico se asegura la muerte sin dolor (Shearer, 2018).

El siguiente estadio del estímulo doloroso es la transmisión, que ocurre cuando el estímulo es transportado hasta el asta dorsal de la médula espinal (Ossipov et al., 2010). En este momento, la sensación dolorosa se integra a un proceso de modulación en el que se busca generar la inhibición o mejora de la sensación a través de influencias supraespinales, que surgen en la médula y el mesencéfalo, donde posteriormente el estímulo nociceptivo seguirá una proyección a

través de los tractos nerviosos, principalmente el espinotalámico (**Figura 3**).

Estos eventos ocurren antes de la percepción en la corteza cerebral (Bell, 2018; Hernandez-Avalos et al., 2019). En la **Figura 3**, se representa en forma esquemática la estimulación de la nocicepción ante un estímulo nocivo producto de un arreador eléctrico. En este estadio, se genera la **transformación** del estímulo nocivo, para que pase del estímulo de un arreador eléctrico, al impulso eléctrico que produce la activación de los nociceptores; el segundo estadio es la **transmisión**, donde la información es transmitida, a través de dos neuronas nociceptivas aferentes primarias: fibras C o nociceptores polimodales C (transmiten información nociceptiva mecánica, térmica, química) y fibras A delta (responden a estímulos mecánicos de alta intensidad, por lo cual son llamadas mecanorreceptores de umbral alto). El siguiente estadio es la **modulación**, proceso por el cual los mecanismos excitatorios e inhibitorios alteran la transmisión del impulso nervioso (Lamont et al., 2000), este representa los cambios que ocurren en el sistema nervioso en respuesta a un estímulo nociceptivo; mediante la **proyección**, la información nociceptiva es transportada al cerebro por medio de los tractos nerviosos que se originan en las láminas del asta dorsal, entre las que destacan el tracto espinotalámico y espinorreticular (estructuras supra-espinales) (Gaynor y Muir, 2009). El último estadio es la **percepción**, donde a este nivel se lleva a cabo el procesamiento e integración de la información que ocurre en múltiples áreas específicas del cerebro tales como la

corteza cerebral, donde se definen características sensoriales del estímulo doloroso, tales como inicio, localización y tipo de estímulo nociceptivo (Muir, 2009).

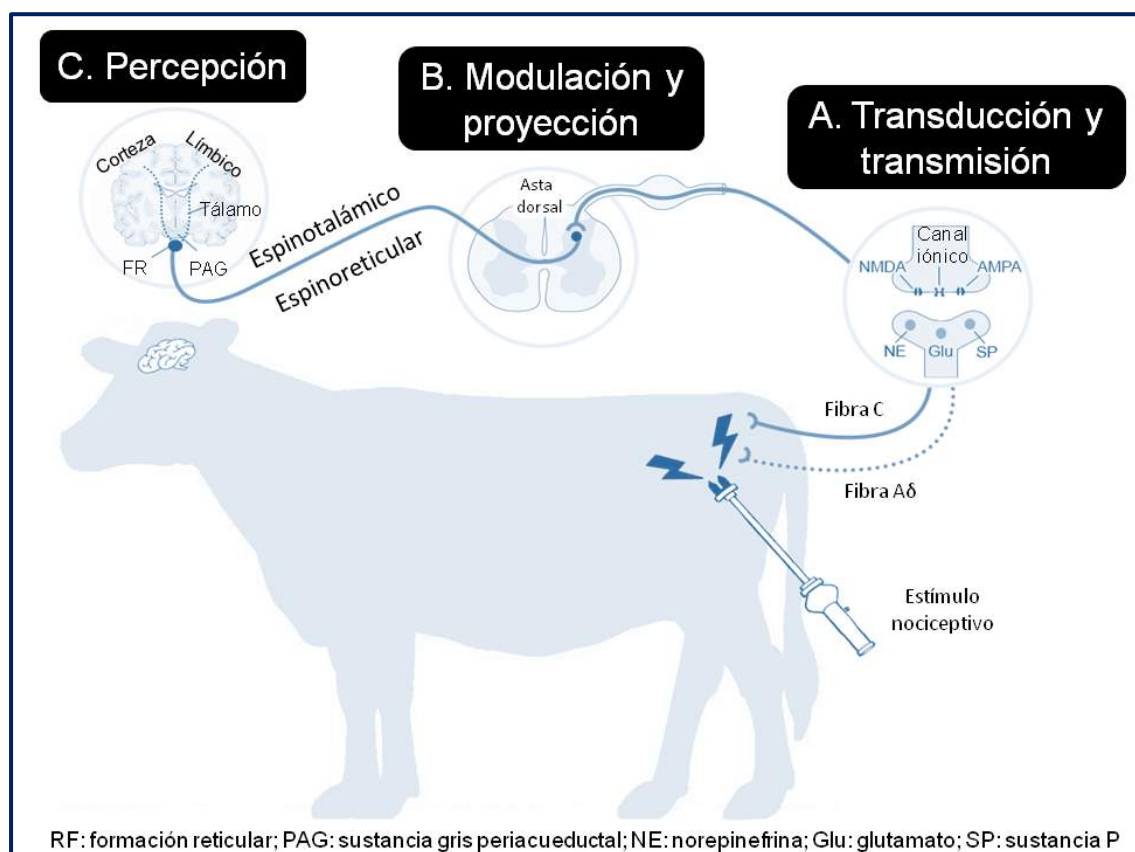


Figura 3. Se representa mediante un esquema los estadios de la estimulación de la nocicepción ante un estímulo nocivo producto de un arreador eléctrico. A. Transducción y transmisión, B. Modulación y proyección, C. Percepción. NMDA: N-metil-D-aspartato, AMPA: ácido α -amino-3-hidroxi-5-metilo-4-isoxazolpropiónico;

Esta fase de la percepción del dolor ha tenido particular interés, debido a que participan los fenómenos de sensibilización central y periférica que modifican la respuesta de las fibras nerviosas, y con ello

pudieran surgir los signos de hiperalgesia (Hernandez-Avalos et al., 2019; Mota-Rojas et al., 2020a,b).

Este fenómeno podría ser el principal responsable de una mayor percepción del dolor en los animales durante el sacrificio y el que probablemente desencadene que se estimulen regiones cerebrales, tales como la corteza cerebral y formación reticular, que llevarán la información sensorial desde el tálamo y se dará la percepción del dolor posterior a la proyección del mismo (Terlow et al., 2016, Ellison, 2017; Glardon et al., 2018, Lopes et al., 2019). De hecho, cuando se evalúa el estímulo doloroso por el traumatismo generado, en los eventos que ocurren en la cascada neurobiológica se podría observar que cuando este trauma es grado 1 donde sólo se involucra la piel entonces se produciría una estimulación de los mecanorreceptores y termorreceptores, que en su caso activarían el arco nociceptivo sin producir una respuesta de sensibilización periférica o de hiperalgesia, lo cual terminaría con una transmisión de un impulso mecánico a un estímulo eléctrico que estaría modulado en el asta dorsal de la médula espinal (Mota-Rojas et al., 2005). Sin embargo, cuando el trauma es grado 2 donde se involucra daño al tejido muscular, además de los nociceptores ya mencionados se podría inferir una activación de los denominados receptores polimodales que marcaría el inicio de una transducción y transmisión modificada desde un estímulo mecánico para pasar a una respuesta química mediada por quimiorreceptores que serán sensibles a la liberación de neurotransmisores excitatorios

tales como la acetilcolina, catecolaminas, H^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Bradicinina e Histamina (Lamont et al., 2000; Bell, 2019; Hernández-Avalos et al., 2021). A este respecto, se ha observado que aquellos animales que perciben dolor y por lo tanto, muestran un mayor grado de sufrimiento durante el sacrificio, presentan entre 50-70 % de lesiones *postmortem*, tales como hematomas que son característicos de este tipo de trauma (Paton, 2014; Sánchez-Hidalgo et al., 2019).

Finalmente, cuando el trauma es grado 3 donde ya se involucra el daño óseo producto del transporte o manejo *antemortem* de los animales, el arco nociceptivo se ve influenciado por la sensibilización periférica y central, caracterizada por una estimulación continua que perpetúa la liberación de neurotransmisores excitatorios tales como el glutamato, aspartato, catecolaminas, prostaglandinas, prostaciclina, bradicina, sustancia P, péptido relacionado al gen de la calcitonina, interleucinas y leucotrienos, que en conjunto podrían generar respuestas de hiperalgesia e incluso de alodinia (**Figura 4**), relacionadas principalmente a los receptores NMDA, AMPA y de Kainato, que también son mediados por canales ionotrópicos donde intervienen el Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (Lamont et al., 2000, Gaynor, 2009, Bell, 2019; Hernández-Avalos et al., 2021).

Por lo tanto, el control de los eventos y factores asociados a la activación de la neurobiología del dolor en la etapa *antemortem*, ayuda a evitar la liberación de sustancias proinflamatorias que

promueven la transmisión de los impulsos nociceptivos o que inclusive activan con mayor facilidad otras fibras nociceptivas que intensifican la percepción del dolor. Que en consecuencia lleva a un mayor tiempo de la muerte y agonía debido a la percepción de estímulos nocivos de alta intensidad.

Relación de la sensibilización de la fibra nerviosa con la percepción del dolor

Durante el embarque, transporte y desembarque existe la posibilidad de que los animales se lesionen, e incluso se exacerben lesiones previas, tal es el caso de mastitis, laminitis, abscesos o signología previa de trastornos reproductivos o neumónicos. Adicionalmente, se observan traumatismos de diferente grado e incluso fracturas o desgarres (Mota-Rojas et al., 2010a,b; Strappini, 2010; Strappini et al., 2013; Mota-Rojas et al., 2005, 2006, 2016; Edwards-Callaway et al., 2019). Pero esto adquiere mayor importancia debido a que las lesiones intervienen en la liberación de citocinas pro-inflamatorias, tales como prostaglandinas, leucotrienos, bradicinina, serotonina, histamina y sustancia P conocidas como “sopa inflamatoria” (Yaksh et al., 2015), la cual promueve o amplifica el impulso nocivo, facilitando la transmisión del dolor (Bell, 2019). Todo lo anterior abre la posibilidad de fenómenos de sensibilización periférica causados por el daño a los tejidos y la inflamación del sitio de la lesión (Gaynor, 2009). En la **Figura 4**, se representa esquemáticamente el proceso

neurofisiológico de la nocicepción del dolor de acuerdo al tejido lesionado. Los nociceptores se pueden diferenciar de acuerdo con la expresión de una serie de canales que confiere una especie de sensibilidad a los diferentes estímulos como calor, frío, ácido e irritantes químicos, observándose como los más comunes los canales (Transient Receptor Potencial por sus siglas en inglés) TRPV1, TRPM8 y TRPA1.

Estas diferentes clases de nociceptores están asociadas con una función específica en la detección de distintas modalidades de dolor. Pero también puede existir diferencia en la intensidad del dolor según los tejidos involucrados y de acuerdo con las fibras nerviosas involucradas.

En el caso del tejido dérmico los nociceptores se encuentran asociados a las fibras nerviosas C, que existen en gran cantidad en este tejido, además, tiene una velocidad de transmisión 0.5 – 3 m/s, caracterizando este fenómeno denominado como segundo dolor, que tiene la función de autoconservación y desuso. Mientras en el caso de existir lesiones de tejido muscular y tejido óseo se presenta en mayor cantidad las fibras tipo A delta, la cual tiene una velocidad de transmisión de 30 m/seg., que responden a umbrales más altos pero en el caso de un daño tisular extenso e inflamación con la correspondiente liberación de mediadores proinflamatorios (prostaglandinas, leucotrienos, bradicinina, serotonina, histamina y sustancia P) intensifican la sensación de dolor, al activar y sensibilizar

los nociceptores produciendo hiperalgesia (Lamont *et al.*, 2000, Gaynor, 2009, Bell, 2019).

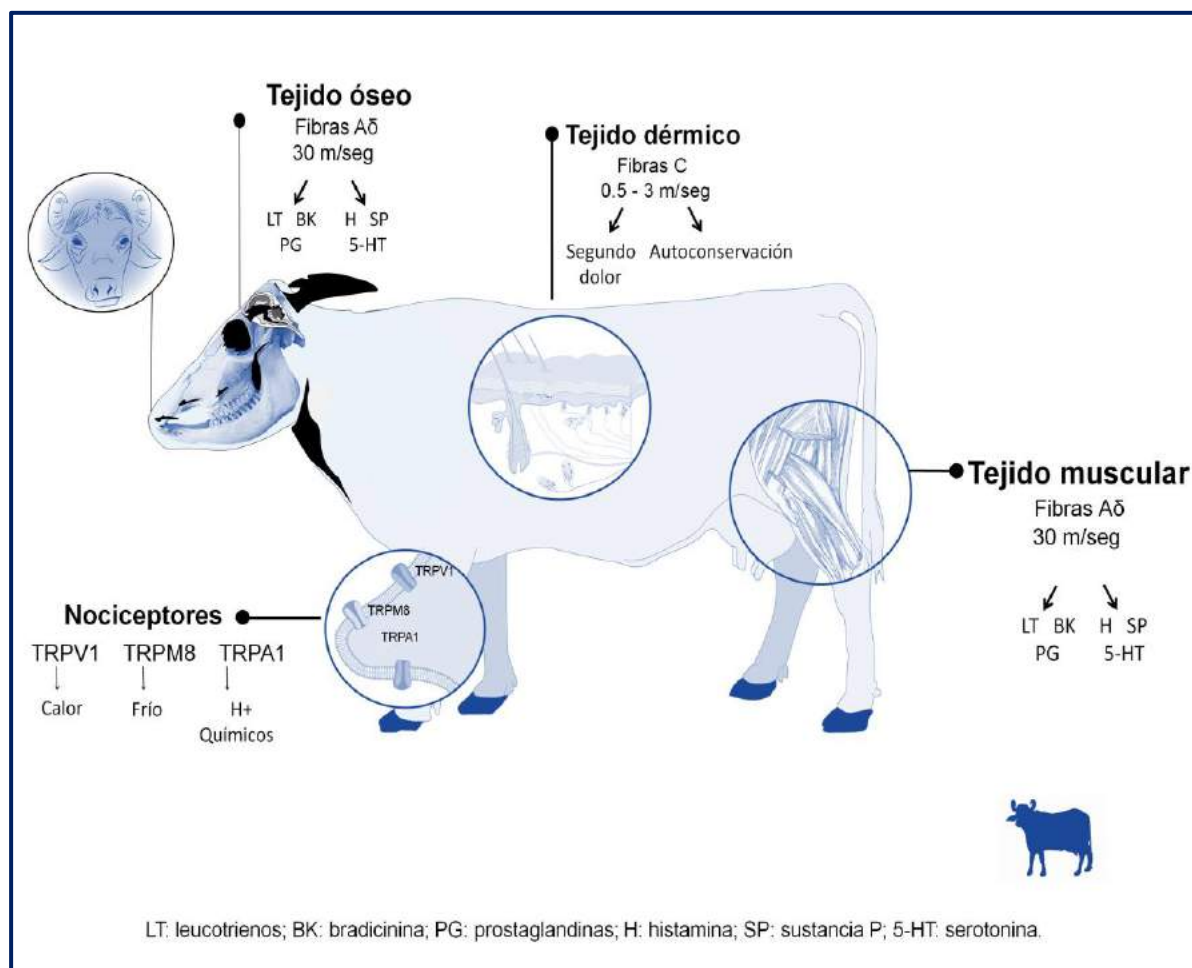


Figura 4. Representación esquemática del proceso neurofisiológico de la nocicepción del dolor de acuerdo al tejido lesionado.

Del mismo modo se ha observado que las concentraciones de citocinas como TNF- α , IL-1, IL-13, IFN- α e IFN- γ , son mayores en las vacas lecheras de la raza Holstein-Friesian con claudicación, en comparación con aquellas que no la presentaban, asociándose esto último a un estado de neuroinflamación o de sensibilización central (**Figura 5**)

(Herzberg et al., 2020). Debido a que este estado se presenta cuando existe un cambio en la excitabilidad de las neuronas del cuerno dorsal, con ello se ocasionan estados de hiperalgesia o de una hipersensibilidad al dolor (Gaynor, 2009).

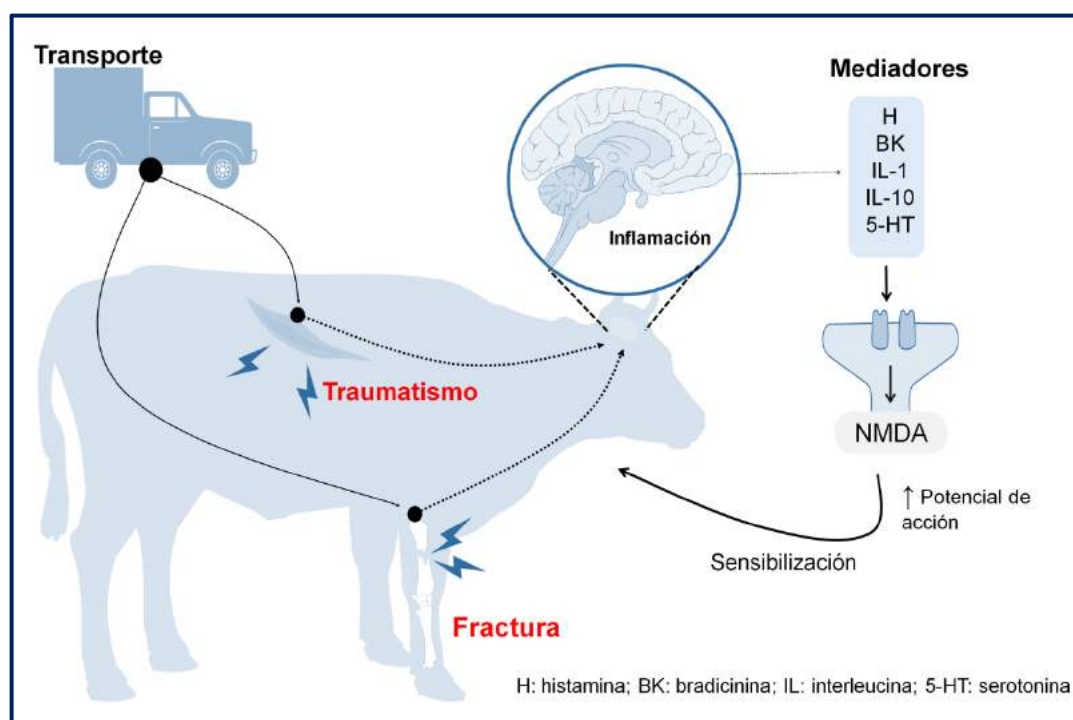


Figura 5. Se representa mediante un esquema el proceso neurofisiológico de la nocicepción del dolor de acuerdo a eventos que afectan el bienestar del animal producidos durante el embarque, transporte y desembarque. NMDA: N-metil-D-aspartato.

La presencia de patologías o lesiones previas crónicas, como la metritis o neumonías, (debido a la liberación de citocinas), modifica el potencial de acción de las terminaciones nerviosas y permite que se

pueda producir una respuesta nociva con mayor intensidad (Stojkov et al., 2015).

¿Pero que consecuencias podrían tener estos fenómenos en la muerte del animal?

En un estudio reciente realizado por Sánchez-Hidalgo et al. (2019), evaluaron en 237 vacas de desecho los indicadores de salud y de manejo durante el proceso de aturdimiento, demostrando que el 50% de las vacas que llegaron al rastro o matadero, tenían problemas en la glándula mamaria y el 24% problemas de cojera. Pero durante el aturdimiento, observaron en particular que el 16% de los animales necesitaron una segunda intervención para continuar con el procedimiento del sacrificio y el 54% superó los 60 segundos establecidos como intervalo recomendado entre el aturdimiento y el desangrado.

Esto sin duda es una evidencia contundente de que la baja tolerancia al dolor, debido a las condiciones previas de salud y pobre nivel de bienestar de los animales, conlleva una mayor percepción del dolor durante el noqueo, generando cambios negativos en el procedimiento como el incremento de la agonía si es que no se cuenta con un método adecuado de aturdimiento.

EL DOLOR ANTE LA FALTA DE ATURDIMIENTO

Para una mejor comprensión, es importante describir las diferencias entre el método de sacrificio Halal (musulmán) y el método Kosher (judío). El Halal consiste en una incisión con un cuchillo afilado rápida y profundamente en el cuello, cortando la vena yugular y la arteria carótida de ambos lados, pero dejando intacta la espina dorsal y con el animal tumbado sobre su lado izquierdo, siguiendo de este modo los preceptos establecidos en el Corán, en los cuales no se admite que sus creyentes se alimenten de la carne de animales muertos o carentes de vitalidad. Es por ello que no aceptan siempre el aturdido previo al sacrificio de los animales, ya que para ellos esta operación es una merma de vitalidad del animal. Por otro lado, el método Kosher sigue los preceptos del Torá.

En la religión semita se considera que la sangre es la vida y por ello no consumen este producto, inclusive la carne debe ser lo más exangüe posible. Además, el animal en el momento de su sacrificio debe estar completamente sano. Es por ello que no aceptan el aturdido, ya que lo consideran una merma de salud para el animal, el cual en el momento de su sacrificio debe estar de pie y el degüello debe ser con un cuchillo especial, con un perfecto afilado y de una longitud especial. El corte debe ser único y debe seccionar los vasos y la tráquea, y debe ser efectuado por un religioso o matarife “Shochet” (Valverde, 2007).

En este contexto, Bozzo et al. (2018), evaluaron a 60 bovinos Charolais, a los que dividieron según el método de matanza en dos grupos; sacrificio tradicional, donde se usó un aturdimiento previo al degüelle y otro según el método Kosher (estilo religioso judío), con el objetivo de detectar y comparar las concentraciones plasmáticas de cortisol y catecolaminas (dopamina, noradrenalina y epinefrina), durante tres etapas de la vida productiva (granja, posterior al transporte y durante el exanguinado).

En este estudio, observaron que los animales en granja y posterior al transporte, presentaron menores niveles de cortisol y catecolaminas, sin embargo, durante el sangrado los niveles tanto de cortisol como de catecolaminas fueron 50% mayores para el método Kosher, en comparación con el sacrificio tradicional.

Cabe mencionar que otra de las consecuencias, fue observada en un experimento que se realizó con el objetivo de determinar el tiempo de colapso posterior al corte por el método Halal, Gregory et al., (2010) reportaron que el 14% del ganado se desplomó y se puso de pie de nuevo antes de colapsar finalmente, mientras que el 8 % del ganado tardó entre 60 a 75 segundos en colapsar.

Entonces, estos resultados son una prueba irrefutable de que el hecho de sacrificar a un animal sin aturdimiento puede tener dos consecuencias: la primera, que la percepción del dolor será con mayor intensidad y en segundo lugar, se provocará un sufrimiento prolongado.

Debido a que es importante considerar el dolor que perciben los animales durante el sacrificio, no se puede dejar de lado la necesidad de realizar una buena insensibilización, así como la importancia de elegir un método adecuado y la región anatómica correcta (Shearer, 2018). Cabe destacar que el objetivo del aturdimiento es interrumpir la transmisión de la información ascendente de la formación reticular hacia la corteza cerebral.

Es aquí donde juega un papel clave el tronco encefálico, que contiene la información del control del sistema cardiovascular, el control respiratorio y el control de la sensibilidad al dolor, además de los estados de vigilia y consciencia (Terlow et al., 2016; Glardon et al., 2018).

Todo lo anterior reafirma la importancia de usar un método adecuado de insensibilización, ya que, como se observa en los ritos religiosos, donde generalmente no se practica un método de insensibilización en los animales, están sujetos a mayores factores que favorecen la manifestación de dolor (Bozzo et al., 2018; Abdullah et al., 2019).

Una respuesta similar fue observada por Sabow et al. (2016), en diez cabras cruzados de Boer, donde compararon los cambios en la bioquímica sanguínea, los índices hormonales y la EEG, cuando se aplicó el corte de las arterias carótidas, la vena yugular, la tráquea y el esófago, sin aturdimiento (consideradas como animales conscientes)

mientras que otras fueron sacrificadas bajo “anestesia mínima” con Halotano.

Cuando se sacrificaron los animales sin aturdimiento o bajo condiciones de anestesia mínima, se observó un incremento en los niveles de glucosa, creatina-cinasa y lactato deshidrogenasa. En cuanto a la EEG no se observaron cambios entre los animales conscientes y aquellos bajo una anestesia mínima, pero si existió un incremento en las ondas alfa, beta y teta, posterior al corte del cuello, lo cual indica que al sacrificar animales conscientes, no anestesiados y anestesiados se asocia con una estimulación nociva.

De modo que estos resultados refutan la importancia del aturdimiento previo al sacrificio, ya que el uso de un anestésico general, como el halotano, no inhibe la transmisión de los impulsos nocivos hacia la corteza cerebral, lo cual si sucedería con un método de aturdimiento, ya sea mecánico o eléctrico. Sin embargo, es necesario mencionar que se deben considerar una serie de factores que pueden afectar la efectividad del aturdimiento, tal como lo menciona Gibson et al. (2015b) quienes hicieron un estudio con el objetivo de valorar los factores mecánicos que afectan el rendimiento del método de aturdimiento a base de la pistola de émbolo cautivo penetrante, en 6 modelos distintos, aprobados por el gobierno del Reino Unido en maniqués diseñados para imitar la conformación de una cabra y un bovino.

Observaron que el uso de una pistola con el modelo comercial junto con un cartucho de 0.25 g presentaron los valores de cinética más altos, en comparación con los aprobados por el gobierno. Además, cuando el arma fue usada repetidamente durante 2 horas, la temperatura alcanzó 88.8 °C, lo cual reduce el rendimiento y por lo tanto, afecta la penetración.

Por todo lo mencionado, se recomienda que se considere la energía cinética administrada a la cabeza del animal, la profundidad de penetración del perno y la especie animal, así como también, el tiempo que ha transcurrido desde que se inició el uso del equipo de aturdimiento con el que se va a sacrificar al animal.

Recientemente se ha descrito que otro factor que puede afectar este método es la profundidad con la que penetra el perno, tal como fue observado por Gregory et al. (2007), quienes evaluaron la prevalencia de conmoción cerebral de poca profundidad después de disparos con perno cautivo a 1608 bovinos; encontraron que el disparo de sonido suave con cartuchos de 4.5 g se asoció con una profundidad de conmoción cerebral baja. Lo cual, fue corroborado con signos como falla en el colapso físico, la presencia o ausencia de reflejo corneal y vocalización posterior al colapso, del mismo modo, se observó la presencia de nistagmo. Además, sugirieron que la ausencia de protrusión de la lengua no se pudo asociar como indicador de conmoción cerebral.

Cabe mencionar que otro aspecto importante a considerar es la especie y la conformación del cráneo, ya que se ha sugerido que el uso de un perno cautivo penetrante y no penetrante pueden causar un daño similar en el cráneo y el tejido blando.

Por ello, recientemente Collins et al. (2017), compararon el daño que se causa al tejido blando y hueso, mediante el uso de una pistola de perno cautivo penetrante o no penetrante en cadáveres de 12 cabras mestizas. Fueron evaluadas mediante resonancia magnética y tomografía computarizada, para describir y evidenciar las estructuras óseas y el tejido blando cerebral afectado por el disparo.

Dichos estudios revelaron que ambos métodos generaron fracturas en la región occipital e interparietal mientras que el tejido blando adyacente a estas áreas afectadas incluyó daño estructural del cerebelo, mesencéfalo, mielencéfalo, diencéfalo y lóbulos occipitales, además de hemorragia asociada con los tejidos blandos subyacentes del cerebro posterior al impacto.

Por el contrario, se ha observado que las pistolas de perno cautivo habituales para el aturdimiento en bovinos no son adecuadas para los búfalos de agua, ya que de acuerdo con Schwenk et al. (2016), quienes evaluaron la lesión cerebral causada por el uso del perno cautivo en 330 búfalos de agua en los que se observó la distancia de penetración mediante resonancia magnética. Los resultados obtenidos fueron que la distancia media entre la piel frontal hasta la tabla ósea era de 74 mm y de la frente al tálamo era de 144.8 mm. Situación que según lo

dicho por los autores, el uso de un aturdidor de perno cautivo habitual puede ser inadecuado para el búfalo de agua, ya que no cumple el objetivo de dicho método, que es evitar la transmisión del estímulo nocivo antes de realizar el degüello, ya que si la penetración no se logra hasta la región talámica, podría ocasionar que el animal se encuentre consciente o perciba los estímulos nocivos.

En contraposición, se ha sugerido que el uso del aturdimiento mediante una carga de corriente ultra alta de un solo pulso, 5000 V y 70 A, durante 50 s, genera una pérdida del conocimiento que puede durar hasta 4 minutos, lo que fue respaldado con EEG.

Además, bajo estas condiciones no se logran observar las convulsiones posteriores al aturdimiento eléctrico convencional (Robins et al., 2014), que en su caso coadyuva a evitar fenómenos de sensibilización central del tálamo, después de una lesión traumática cerebral. Esto concuerda con lo observado en un modelo de lesión traumática cerebral en ratas, donde se logró evaluar que posterior a las 3 semanas de haber sufrido una lesión cerebral, las ratas desarrollaron dolor espontáneo y continuo (Uddin et al., 2019).

Con estos estudios, se puede demostrar, que al intentar utilizar un método de aturdimiento en búfalos de agua similar al que se emplea en bovinos, el aturdimiento podría fracasar y el animal pudiera recobrar la consciencia, prolongado con ello la agonía o, en su caso,

experimentar una alta percepción del dolor durante la matanza debido a la sensibilización central.

De modo que el uso de un método efectivo de insensibilización reduce el tiempo total de sufrimiento y el nivel de dolor que perciben los animales. Así mismo, tiene consecuencias en la calidad de la carne debido a la presencia de lesiones provocadas como consecuencia de los intentos por recobrar la conciencia. Por ello, es necesario reconocer las ventajas o desventajas que tendría el método de aturdimiento sobre la especie en la que se aplicará.

Consecuencias del mal manejo en el transporte, desembarque, incorrecta insensibilización o nulo aturdimiento como elementos que generan tolerancia baja y alta, durante la percepción del dolor

Las condiciones en las que se realiza el transporte de los animales hacia las áreas de sacrificio pueden tener un fuerte impacto sobre el comportamiento animal, a tal grado de ser un factor en la presentación de conductas agresivas dominantes (Tarrant, 1990). Estas a su vez favorecen la observación de lesiones en la piel, con la formación de hematomas y moretones, que como ya fue analizado pueden llevar a una sobre estimulación de los nociceptores y en consecuencia a la alta percepción de dolor (**Figura 5**).

Aunado a los traumatismos y el dolor que generan éstos durante el transporte, se debe considerar la percepción de altas o bajas

temperaturas durante el transporte y los efectos negativos que pudieran ocasionar éstos fenómenos en los animales (Gregory, 2008). En un estudio realizado en 100 búfalos de agua que fueron transportados bajo condiciones de estrés nociceptivo agudo, encontraron un total de 244 golpes o contusiones corporales, distribuidas de la siguiente manera: el 59% fueron moretones pequeños pero profundos, el 19.3% medianos, el 9.8% pequeños, el 6.1% medianos y profundos y el 5.7% grandes. La mayoría de estas lesiones se presentaron en los miembros traseros, abdomen, hombros, cuello, espalda y región perineal (Chandras y Das, 2001).

Por otro lado, en un estudio realizado por Ahsan et al., (2014), encontraron que un 89% de las vacas y búfalos presentaban lesiones, principalmente en el dorso, en la parte ventral y la base de la cola, en la zona lumbar, así como en la región torácica y escapular, causados tanto por otros congéneres, como por los golpes que los animales pudieran darse contra el mismo vehículo que los transportaba debido a que no se respeta el espacio vital y muchas veces los animales viajan en densidades mucho más elevadas a las recomendadas (Ahsan et al., 2014).

Tomando en cuenta el bienestar animal y la importancia de disminuir los estímulos dolorosos al máximo, cabe señalar que todas las lesiones provocadas en la piel son registradas por medio de los nervios periféricos y por el sistema nervioso simpático, a través de los receptores cutáneos del dolor denominados nociceptores fibras-C (C-

fiber). Lo anterior se pudo constatar en un estudio realizado en conejos (*Oryctolagus cuniculus*) por Sato y Perl (1991), en donde tras recibir un daño en las fibras nerviosas cutáneas, se observó que aun pasados varios días después de la lesión, los conejos seguían respondiendo a estímulos dolorosos, ya que estos fueron mediados por los receptores α -2 adrenérgicos. Esto es un punto importante para tomar en cuenta como argumento de apoyo para evidenciar que aún cuando se piensa que los animales pudieran no sentir dolor, lo siguen percibiendo.

En el transporte de los animales al rastro o matadero pueden existir diversos factores que contribuyen la estimulación nociceptiva (**Figura 5**), lo que puede suceder en las caídas, lesiones, cortes o desgarres y fracturas, además de que los trayectos pudieran ser demasiado largos.

Lo anterior puede abrir la posibilidad de generar procesos inflamatorios crónicos con la participación de los mediadores químicos como la histamina, serotonina, bradicinina e interleucinas (IL- 1 e IL-10) que promueven la participación de los receptores N- metil- D- aspartato (NMDA) contribuyendo a la sensibilización de las fibras nociceptivas y la reducción del potencial del acción, favoreciendo que los animales perciban estímulos dolorosos con mayor intensidad durante el trayecto hacia el matadero.

Sin embargo, el estrés y los golpes no terminan en el transporte (**Figura 6**), sino que continúan a la entrada en el cajón de noqueo, en donde se ha observado que los animales se golpean en el lomo y dorso con la puerta tipo guillotina, además de que a veces existen malos hábitos de comportamiento por parte de los trabajadores como: gritos, retorcimiento de cola para obligarlos a avanzar, palmadas o golpes en el tren anterior y principalmente en el posterior (Hultgren et al., 2014), así como el uso excesivo de arreadores eléctricos (**Figura 6**) (Villarroel et al., 2001; Alarcón-Rojo et al., 2020).



Figura 6. Uso de palos (A) y perros (B) para conducir a los búfalos a la manga y entrada del camión que los transportará con destino al rastro o matadero. Ambos lejos de ayudar, favorecen el estrés y nerviosismo, sin duda factores que se acumularán al ayuno, transporte, desembarque y acceso al cajón de aturdimiento.

Por otro lado, es necesario mencionar que el uso de métodos dolorosos tales como los arreadores eléctricos a veces pudieran no generar hematomas en el tejido (Strappini et al., 2013), sin embargo, el estrés nociceptivo agudo causado en el ganado por su uso puede contribuir a producir defectos en la calidad de la carne, como lo probaron en un estudio Warner et al. (2007), al notar que la capacidad de retención de agua en el músculo se veía disminuida, con el uso de arreadores eléctricos 15 minutos antes del sacrificio y con ello, se encontraba afectada la aceptabilidad del consumidor.

Del mismo modo, se ha reportado por Probst et al. (2012) que, al incrementar el contacto del humano con el animal, en el ganado de carne, suceden un menor número de movimientos de resistencia en el cajón de noqueo y más movimientos hacia adelante ($P < 0.01$), del mismo modo, observaron una tendencia inferior en las concentraciones de cortisol (81 Vs. 137 nmoles/l), a diferencia de los animales que no fueron manejados previamente.

De modo que se ha identificado que los comportamientos más frecuentes en el cajón de noqueo de los animales son: lucha (38.3%), vocalización (17.2%) y caídas (9.5%) (Muñoz et al., 2012), por lo que estos comportamientos de escape se traducen en lesiones ocasionadas por el contacto físico contra las instalaciones causándoles dolor, lo cual dificulta la colocación correcta de la pistola de aturdimiento, incrementando con ello, el tiempo de permanencia en el cajón de noqueo (Grandin, 2013).

En este sentido, se sabe que el hecho de que el animal sienta miedo durante alguna etapa del proceso de producción o muerte, puede llegar a provocar un impacto negativo en el bienestar animal (von Kevserlingk et al., 2009). Los humanos posicionados en las mangas de manejo, en los corrales o en las salas de ordeño, pueden llegar a ser una fuente de miedo para los animales (Hemsworth, 2003), ocasionando con ello que el bienestar, la salud y la producción animal se vea afectada y por ello, es necesario crear ambientes e interacciones “amistosas” (Mackay et al., 2014).

Aunado a ello, Voisinet et al. (1997), observaron que si se da un manejo inadecuado existe un incremento significativo de cortisol ($P<0.05$) y catecolaminas ($P<0.001$), ya que esto ocasiona una estimulación de la médula adrenal en respuesta al estrés, disminuyendo con ello, las reservas de glucógeno (Micera et al., 2010). A esto se debe agregar que la glucemia está bajo control hormonal, por lo que se encuentra sujeta a los niveles circulantes de las catecolaminas y glucocorticoides, que son hiperglucémicos y funcionan activando rutas metabólicas como glucogenólisis y gluconeogénesis, respectivamente (Mota-Rojas et al., 2005; Mota-Rojas et al., 2012), afectando el potencial glucolítico *postmortem*, incrementando el número de canales con pH por encima de 5.8 y en casos graves la presencia de cortes oscuros (Becerril-Herrera et al., 2010; Mota-Rojas et al., 2010a,b; Teke et al., 2014; Mota-Rojas et al., 2016).

También, se ha reportado que la sujeción ocasiona un incremento en el número de animales que vocalizan (25-32%), las cuales pueden ser ocasionadas por el uso de arreador eléctrico, golpes con la puerta de entrada, resbalones y caídas en el cajón de noqueo o por presión excesiva (Grandin, 2010), esto demuestra que realizar esta técnica de una manera inadecuada ocasiona dolor en los animales, por lo que se recomienda realizar la insensibilización dentro de los primeros 5 segundos después de la sujeción (Muñoz et al., 2012).

Por tal motivo, el uso de elementos eléctricos para la movilización de los animales es un factor de estrés nociceptivo agudo, tanto para los cerdos, como para el ganado (**Figura 3**). De hecho, esta práctica ha sido prohibida en cerdos pequeños, ovejas y caballos por la OIE (OIE, 2012), en caso de ser requerido su uso, solo se permiten instrumentos accionados por batería y con un voltaje no superior a los 30 V (Grandin, 2001). Y solo se permite su uso en casos en los que los animales se rehúsen a moverse a pesar de que sí cuenten con espacio suficiente para desplazarse, o cuando se encuentren echados (sin incapacidad para incorporarse), obstruyan la circulación de otros animales (Manteuffel et al., 2004), y cuando se observa un animal caído durante el transporte, intentando que el animal se incorpore y evitar así la presencia de contusiones generalizadas por pisoteo de los demás animales (Ghezzi et al., 2008).

Del mismo modo, a pesar de que está prohibida su aplicación en algunas partes del cuerpo, el bastón eléctrico es comúnmente

utilizado en áreas como la cara y los genitales del animal, siendo esta una práctica dolorosa (Bourguet et al., 2011; Muñoz et al., 2012). Por ello, mientras más largo sea el tiempo que el animal está expuesto a la corriente eléctrica, mayor será el daño causado, pudiendo ocasionar con ello la muerte repentina, debido a que los impulsos neurales regulatorios se ven interrumpidos, además de que la electricidad igual puede ocasionar heridas electrotérmicas en el punto de contacto y en órganos internos (Schulze et al., 2016). Para entender que sucede a nivel neurofisiológico, se puede decir que la corteza cingulada anterior (ACC) está involucrada en el procesamiento nociceptivo del dolor, como lo observaron Sikes y Vogt (1992), en un estudio realizado en ratas y en conejos. De igual manera, San Pedro et al., (1998), concluyeron que esta región se encarga de decodificar los estímulos de intensidad más que los estímulos de propiocepción o discriminación espacial. Por lo tanto, el uso de un método inadecuado de manejo en los animales que estén próximos al sacrificio puede traer más desventajas que beneficios. Hay que mencionar que la acción de la matanza no debe ser un elemento más de estrés o dolor; de por si hay otros efectos *antemortem* aditivos que ocasionarán consecuencias desfavorables y se verán reflejados en la calidad de la carne, además, de provocar un sufrimiento prolongado, generando con ello una mayor sensibilidad al dolor.

DOLOR DURANTE EL SACRIFICIO RELIGIOSO (Shechita/Kosher, Halal)

Tanto en la religión musulmana como en la judía, se siguen determinadas pautas para el sacrificio de los animales que están destinados para su consumo, tal es el caso de las técnicas Halal, Shechita y Kosher (Gibson et al., 2015a). Estos procedimientos se han relacionado a dolor o distrés en tres momentos en específico, en los cuales se incluyen los causados por la ausencia del aturdimiento, al momento del corte de los vasos sanguíneos y tejidos circundantes, y como sucede posterior al corte de estos (Gregory et al., 2012).

Es por ello que la matanza religiosa Halal, se trata de un tipo de sacrificio sumamente doloroso y estresante para el animal, no solo por el corte, que lleva a la activación de diferentes nociceptores, sino que además alrededor del animal (Glardon et al., 2018; Imlan et al., 2020), donde existen un sinnúmero de estímulos nocivos y aunado a esto hay que sumarle el estrés nociceptivo asociado con el hecho de que la pérdida de la consciencia pudiera ser muy lento y la aspiración de sangre en el tracto respiratorio causa dificultad respiratoria que podría representar una mayor agonía (Gregory et al., 2010; Grandin y Regenstein 1994; Gibson et al. 2015a). En la **Figura 7** se representan los diversos indicadores que sirven para determinar el estado de consciencia o inconsciencia después de cualquier tipo de aturdimiento, estos nos indican que un animal al momento del sacrificio pudiera estar consciente y sintiendo dolor. Entre ellos se citan: vocalizaciones, movimientos de oreja, luchas, erizamiento, temblor, los reflejos

oculares y pupilares, los reflejos de retirada por estímulos dolorosos, la postura corporal o los reflejos de enderezamiento, el ritmo respiratorio, la posición de la lengua, el reflejo a un estímulo doloroso, entre otros.

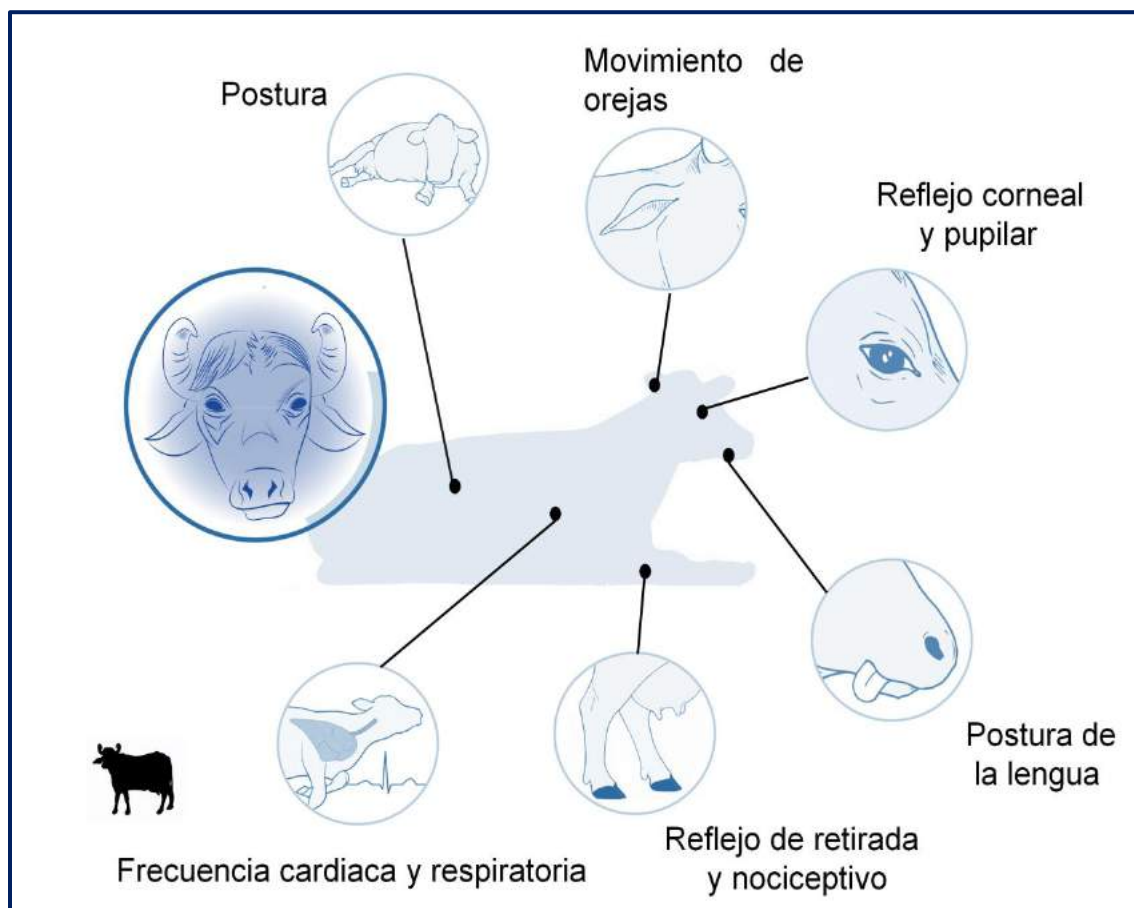


Figura 7. Representación de los indicadores de dolor al sacrificio por mala aplicación o ausencia de métodos de aturdimiento en los animales durante la matanza.

Al respecto, Gregory et al., (2009), realizaron un estudio en el que examinaron las vías respiratorias de los bovinos al ser sacrificados por 3 diferentes métodos: Halal, Shechita y con perno cautivo penetrante

como aturdimiento. Ellos encontraron que, aquellos animales a los que no se les había aplicado ningún tipo de aturdimiento previo (Halal y Shechita), continuaban respirando durante la primera parte del proceso de desangrado, a diferencia de los que si fueron aturdidos, los cuales presentaron disminución en la frecuencia y profundidad de la respiración durante el proceso de exanguinación.

En dicho estudio, el 19% de los animales sacrificados por el método Shechita, el 58% de los sacrificados por el método Halal y el 21% de los que fueron sacrificados utilizando método de aturdimiento, presentaron sangre acumulada en la tráquea. El 36%, 69% y 31% respectivamente, presentó sangre en los bronquios; el 10%, 19% y 0% respectivamente, presentó sangre fresca en la tráquea, por lo que se concluyó que el sacrificio sin aturdimiento ocasiona dificultad respiratoria en los animales (Gregory et al., 2009).

La entrada de líquido en los bronquios y el espacio alveolar, en este caso sangre, desencadena una reacción antiinflamatoria con la liberación de citocinas proinflamatorias, TNF- α e interleucinas como la IL- 1 e IL- 10, sin embargo, la inoculación de organismos de la flora común de la orofaringe y el esófago da como resultado el origen del proceso infeccioso. Si la carga bacteriana del aspirado es baja, las defensas normales del hospedero eliminarán las secreciones y evitarán la infección (Mandell y Niederman, 2019).

En este sentido, existe gran controversia, ya que, mientras algunos autores mencionan que el hecho de que el animal durante el sacrificio aspire sangre a través de su tracto respiratorio alto y pulmones, puede causar mucho sufrimiento si no se les aturde previamente (Halal, Shechita o Kosher) (von Wenzlawowicz y von Holleben, 2007), por otro lado, existe la idea contraria de que no hay tal sufrimiento debido a que las señales aferentes activadas por la presencia de irritantes en los pulmones, están reguladas por la neuronas del nervio vago (King, 1999).

En cambio, en los animales en los que el nervio vago está intacto y se encuentran conscientes, la presencia de líquido en el tracto respiratorio, provoca irritación de los nociceptores existentes en las vías aéreas, en particular de los receptores presentes en la glotis, en la laringe y en la tráquea, lo cual puede ocasionar tos o la activación del reflejo de expulsión de un cuerpo extraño (Canning, 2007).

Pero ¿qué sucede con la activación del reflejo laríngeo, regulado por la presencia de algún irritante? Dicho reflejo está regulado a través de las conexiones neuronales existentes en las vértebras cervicales C2, sin embargo, en el método Halal y en el Shechita, el corte en el cuello se realiza desde C3 hasta C5 (Godinho y Getty, 1975), por lo tanto, ese reflejo está presente en el animal consciente y sin aturdimiento, y con ello el sufrimiento y el dolor del animal está implícito. En la **Figura 8** podemos observar la inmovilización que se da en el sacrificio Kosher.



Figura 8. Representación esquemática del sacrificio Kosher. (Figura esquematizada por Ana María Duarte).

Otro punto a considerar en el método Halal, es que no se especifica el tipo de cuchillo que debe emplearse para hacer el corte, por ello, en ocasiones el cuchillo que emplean para realizarlo, pudiera no tener un largo o filo adecuado y esto, en los búfalos de agua, hace más difícil el acceso a la zona óptima para llevarlo a cabo. Similar a lo observado con el uso de un cuchillo que presenta un filo inadecuado que puede ocasionar que no se genere la exanguinación de manera contundente, elevando los niveles de cortisol y catecolaminas por el estrés prologado (Imlan et al., 2020). Entonces, de acuerdo con los hallazgos científicos recientes, los métodos de sacrificio religioso ponen en

riesgo el bienestar animal, debido a que los animales perciben estímulos dolorosos y que al mismo tiempo pueden cursar con miedo durante todo el proceso, por ello es necesario llegar a un acuerdo que favorezca a todas las partes (principalmente a los animales), para evitar que este tipo de sacrificios sigan perpetuándose sin ningún tipo de aturdimiento previo.

IMPLICACIONES

Durante la aplicación del método Halal surge la controversia y la necesidad de realizar mejoras o adecuaciones a este tipo de sacrificio, para evitar el dolor durante el proceso, así como para lograr un balance entre las leyes del Islam y las cuestiones de bienestar animal (Farouk et al., 2014).

Desde la perspectiva del bienestar, bajo ninguna circunstancia debe permitirse que el animal experimente dolor durante la muerte, por ello, es indiscutible el uso de un método de aturdimiento que asegure la calidad de su muerte desde una perspectiva científica (Mota-Rojas et al., 2016). De acuerdo a esto, en la búsqueda de este balance, este tipo de sacrificio permite el uso de determinados métodos de aturdimiento, tales como, el perno no penetrante y el aturdimiento eléctrico (Cabot, et al., 2007).

Es importante tomar en cuenta la capacitación del personal ya que si el método no se aplica correctamente, por ejemplo, si el perno no penetrante no se aplica en un ángulo de 90 grados de la región frontal de bovinos, pudiera ser totalmente inservible y el animal pudiera estar consciente durante el degüello.

Otra manera en que este método de percusión pudiera fallar sería en el caso de los búfalos viejos, los cuales tienen los huesos del cráneo muy gruesos y por ello, el impacto no es suficientemente fuerte como para causar un aturdimiento adecuado (Robins et al., 2014). Del mismo modo, de acuerdo con Neves et al., (2016), la aplicación de los métodos de sacrificio religiosos sin un aturdimiento previo, pueden ocasionar dolor extremo en los animales, por lo que tanto un método de aturdimiento, como la utilización de métodos de sujeción mejor diseñados pudieran ayudar a disminuir dicho sufrimiento.

Por tanto, considerar todas las implicaciones científicas, éticas, legislativas, sanitarias y de producción permitirá establecer y aplicar las medidas necesarias para garantizar el nivel de bienestar adecuado durante el sacrificio de los animales (Fike y Spire, 2006; Grandin, 2010; Mota-Rojas et al., 2016).

Ejemplo de ello, es el prevenir y evitar los estímulos dolorosos a los animales, ya que éstos eventos pueden afectar la calidad e inocuidad de la carne, del mismo modo que podrían aumentar las pérdidas

económicas por la presencia de daños en la canal que demeritan su valor comercial (Dalmau y Velarde, 2016; Romero et al., 2013; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b,c,d).

De esta manera, es indispensable buscar alternativas en el uso de métodos de aturdimiento que eviten el dolor y sufrimiento durante la matanza y que a la vez vayan de acuerdo a las creencias religiosas de los judíos, musulmanes y del Islam, para que, de este modo, se asegure el bienestar animal en cada etapa de la muerte. Otros factores a considerar, son la capacitación adecuada de los operarios, así como el correcto mantenimiento de los utensilios.

CONSIDERACIONES FINALES

La utilización de métodos de manejo dolorosos e inadecuados previos al sacrificio, así como el uso de métodos incorrectos de aturdimiento o el hecho de que los animales presenten patologías que generen dolor, pueden llevar a procesos de sensibilización, ya sea central o periférica, ocasionando con ello estímulos que pudieran ser nocivos y que además alteran la neurobiología de los animales, provocándoles baja tolerancia al dolor y alta percepción de éste durante todo el proceso de matanza. La calidad de vida es importante, pero la calidad de muerte lo es también.

Otro elemento importante a considerar es que si bien los métodos de aturdimiento pudieran ser correctos, existen deficiencias en el manejo, mantenimiento del equipo y capacitación del personal, que hacen que los métodos sean dolorosos e inadecuados durante la matanza, lo cual en su caso, también puede llevar al desarrollo de procesos de sensibilización periférica y percepción del dolor. Por ello, se debe evaluar si el método utilizado es el adecuado para la especie, como se ha observado en los grandes rumiantes como los bovinos del género *Bos* o el *Bubalus bubalis*, ya que al intentar reproducir el método similar al del bovino tradicional, se ocasionará que la matanza produzca dolor intenso, contrario a los preceptos de un aturdimiento efectivo, donde se establece que sea rápido e indoloro. Para mayores detalles de cómo se debe aturdir el búfalo de agua, consulte el capítulo 25.

Por tal motivo, es necesario tomar en cuenta los factores que afectan el funcionamiento del equipo de aturdimiento, como la cantidad de disparos realizados de manera continua y sin dar descanso al equipo de aturdimiento, que podrían reducir la energía del disparo, lo cual podría limitar su efectividad, aunado a que cada especie debe tener un tipo y zona de aturdimiento específicos.

De igual manera, es de suma importancia adiestrar al personal que realizará el procedimiento desde el transporte, aturdimiento y matanza de los animales, para evitar cometer errores que pudieran

poner en riesgo el bienestar animal y llegar a producir estímulos que generen respuestas neurofisiológicas que se traduzcan en dolor al momento del sacrificio.

La evidencia científica en contra del uso de los métodos dolorosos para la manipulación de los animales es contundente. Lo que demuestra que es necesario reconocer que, para lograr técnicas de sacrificio que no produzcan dolor o al menos lo minimicen, se debe mantener un alto nivel de bienestar animal durante todo el proceso de matanza; desde el transporte y a la llegada al matadero, para así evitar un detrimento de la canal, ocasionado por la manipulación y el sufrimiento prolongado durante la matanza.

Por ello, con mayor razón es indispensable actuar de manera ética y civilizada, ya que no solo basta con mantener estándares de bienestar durante todo el proceso de producción de los alimentos, sino también durante el proceso de sacrificio de los animales. Sin embargo, aún queda un espacio importante que cubrir, debido a que ciertas costumbres religiosas que impiden el uso de diversos tipos de aturdimiento (Halal, Kosher, Shechita), hacen que el proceso de matanza pudiera tornarse sumamente doloroso y poco ético desde el punto de vista del bienestar animal. A pesar de que en algunos países de Europa este tipo de sacrificios ya han sido prohibidos, en otros se exigen algún método de noqueo previo a la muerte. Sin embargo, aún quedan muchos países en los que urge de manera inmediata realizar y

aplicar leyes que eviten el sufrimiento animal durante todas las etapas de producción y finalización para lograr un balance entre las costumbres religiosas y la adecuada procuración del bienestar animal.

REFERENCIAS

- Abdullah, F.A., Borilova, G., Steinhäuserova, I., 2019. Halal Criteria Versus Conventional Slaughter Technology. *Animals*, 9, 530. <https://doi.org/10.3390/ani9080530>
- Ahsan, M., Hasan, B., Algotsson, M., Sørensen, S., 2014. Handling and welfare of bovine livestock at local abattoirs in Bangladesh. *J. Appl. Anim. Welf. Sci.*, 17, 340-353.
- Alarcón-Rojo, A.D., Duarte-Atondo, J.O., 2006. Músculo PSE y DFD en Cerdo. In: Hui YH, Guerrero-Legarreta I, Rosmini RM, editors. Book "Meat science and technology. México D. F.: LIMUSA, Noriega Editores; 2006. p. 634.
- Alarcón-Rojo, A., Mota-Rojas, D., García-Galicia, I., Cruz-Monterrosa, R., Ramírez-Bribiesca, E., Olmos-Hernández, A., Guerrero-Legarreta, I., 2020. Dark cutting in river buffalo: Effect of management and environmental factors. *Agroproductividad* 13, 93-98. <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1927>
- Alexandratos, N., Bruinsma, J., 2012. World Agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. FAO, 12.
- Asghar, A., Torres, E., Gray, J.I., Pearson, A.M., 1990. The effect of salt on myoglobin derivatives in the sarcoplasmic extract from pre-

- and post-rigor beef in the presence or absence of mitochondria and microcosms. *Meat Sci.*, 27, 197-209.
- Basbaum, A.I., Bautista, D.M., Scherrer, G., Julius, D., 2009. Cellular and Molecular Mechanisms of Pain. *Cell*, 139, 267-284. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.09.028>
- Becerril-Herrera, M., Alonso-Spilsbury, M., Lemus-Flores, C., Mota-Rojas, D., 2009. CO2 stunning may compromise pigs welfare compared with electrical stunning. *Meat Sci.* 81, 233–237.
- Becerril-Herrera, M., Alonso-Spilsbury, M., Ortega, M.E.T., Mota-Rojas, D., 2010. Changes in blood constituents of swine transported for 8 or 16 h to an Abattoir. *Meat Sci.*, 86, 945-948.
- Bell, A., 2018. The neurobiology of acute pain. *Vet. J.*, 237, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.05.004>
- Bornett-Gauci, L.L.I., Martin, J.E., Arney, D.R., 2006. The welfare of low-volume animal farm during transport and at slaughter: a review of current knowledge and recommendations for future research. *Anim. Welf.*, 15, 299-308.
- Bourguet, C.; Deiss, V.; Tannugi, C.C.; Terlow, C., 2011. Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: Relationship with organizational aspects of the abattoir and animal characteristics. *Meat Sci.*, 88, 158-168.
- Bozzo, G., Barrasso, R., Marchetti, P., Roma, R., Samoilis, G., Tantillo, G., Ceci, E. 2018. Analysis of Stress Indicators for Evaluation of Animal Welfare and Meat Quality in Traditional and Jewish

- Slaughtering. *Animals*, 8, 43.
<https://doi.org/10.3390/ani8040043>
- Cabot, M.A., Aragón, R., Sarda, M.A., Casals, BA., 2007. Sacrificio religioso. Curso de Protección de los animales en el momento de su sacrificio. San Fernando de Henares.
<https://es.scribd.com/document/211292423/Metodo-Halal>
- Canning, B.J., 2007. Encoding of the cough reflex. *Pulmonary Pharmacology and Therapeutics*, 20, 396-401.
- Chandra, B.S., Das, N., 2001. The handling and short-haul road transportation of spent buffaloes in relation to bruising and animal welfare. *Trop. Anim. Health prod.*, 33, 155-163.
- Collins, S.L., Caldwell, M., Hecht, S., Whitlock, B.K., 2017. Comparison of penetrating and nonpenetrating captive bolt methods in horned goats. *Am. J. Vet. Res.*, 78, 151-157.
<https://doi.org/10.2460/ajvr.78.2.151>
- Dalmau, A., Velarde, A., Chapter 26. Animal welfare assessment at slaughterhouse. In: Mota-Rojas, D.; Velarde, A.; Huertas-Canén, S.M.; Cajiao, M.N., editors. *Bienestar animal, una vision global en Iberoamérica [Animal welfare, a global vision in Ibero-America]*. 3rd ed. Elsevier, Barcelona; 2016, p.341-8.
- Dinakar, P., Stillman, A.M., 2016. Pathogenesis of Pain. *Semin.Pediatr. Neurol.*, 23, 201-208.
<https://doi.org/10.1016/j.spn.2016.10.003>
- Edwards-Callaway, L.N., Walker, J., Tucker, C.B., 2019. Culling Decisions and Dairy Cattle Welfare During Transport to

- Slaughter in the United States. *Front. Vet. Sci.*, 5. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00343>
- Ellison, D.L., 2017. Physiology of Pain. *Crit. Care Nurs. Clin*, 29, 397-406. <https://doi.org/10.1016/j.cnc.2017.08.001>
- Farouk, M.M., Al-Mazeedi, H.M., Sabow, A.B., Bekhit, A.E.D., Adeyemi, K.D., Sazili, A.Q., Ghani, A., 2014. Halal and kosher slaughter methods and meat quality: A review. *Meat Sci.*, 98, 505-519.
- Fike, K., Spire, M., 2006. Transportation of cattle. *Vet. Clin. North Am.: Food Anim. Pract.*, 22, 305-320.
- Ghezzi, M. D.; Acerbi, R.; Ballerio, M.; Rebagliati, J. E.; Díaz, M. D.; Bergonzelli, P.; Civit, D.; Rodríguez, E. M.; Passucci, J. A.; Cepeda, R.; Sañudo, M. E.; Copello, M.; Scorzielo, J.; Caló, M.; Camussi, E.; Bertoli, J.; Aba, M. A. 2008. Evaluación de las prácticas relacionadas con el transporte terrestre de hacienda que causan perjuicios económicos en la cadena de ganados y carne. Cuadernillo Técnico No 5. Instituto de Promoción de la Carne Vacuna Argentina (IPCVA). 28 p. <http://www.ipcva.com.ar/files/ct5.pdf>
- Gibson, T.J., Dadios, N., Gregory, N.G., 2015a. Effect of neck cut position on time to collapse in halal slaughtered cattle without stunning. *Meat Sci.*, 110, 310-314.
- Gibson, T. J., Mason, C. W., Spence, J. Y., Barker, H., & Gregory, N. G., 2015b. Factors Affecting Penetrating Captive Bolt Gun Performance. *J. Appl. Anim. Welf. Sci.*, 18, 222-238. <https://doi.org/10.1080/10888705.2014.980579>

- Glardon, M., Schwenk, K.B., Riva, F., von Holzen, A., Ross, G.S., Kneubuehl, P.B., Stoffel, H.M., 2018. Energy loss and impact of various stunning devices used for the slaughtering of water buffaloes. *Meat Sci.*, 135, 159-165.
- Godinho, H.P., Getty, R. 1975. In R. Getty (Ed.), *Sisson and Grossman's the anatomy of domestic animals* (5th ed.), Philadelphia, USA: WB Saunders Co. 1, 1083-1092.
- Grandin, T., 2001. Cattle vocalizations are associated with handling and equipment problems at beef slaughter plants. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 71, 191-201.
- Grandin T., 2010. Auditing animal welfare at slaughter plants. *Meat Sci.*, 86, 56-65.
- Grandin T., 2013. Making slaughterhouses more humane for cattle, pigs, and sheep. *Ann. Rev. Anim. Biosci.*, 1, 491-512.
- Grandin, T., Regeinstein., 1994. Religious slaughter and animal welfare: a discussion for meat scientists. *Meat Focus International*. CABI, 115-123.
- Gregory, N.G., Lee, C.J., Widdicombe, J.P., 2007. Depth of concussion in cattle shot by penetrating captive bolt. *Meat Sci.*, 77, 499-503. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.04.026>
- Gregory, N.G., 2008. Animal welfare at markets and during transport and slaughter. *Meat Sci.*, 80, 2-11.
- Gregory, N.G., von Wenzlawowicz, M., von Holleben, K., 2009. Blood in the respiratory tract during slaughter with and without stunning in cattle. *Meat Sci.*, 82, 13-16.

- Gregory, N.G., Fielding, H.R., von Wenzlawowicz, M., von Holleben, K., 2010. Time to collapse following slaughter without stunning in cattle. *Meat Sci.*, 85, 66-69.
- Gregory, N.G., von Wenzlawowicz, M., von Holleben, K., Fielding, H.R., Gibson, T.J., Mirabito, L., Kolesar, R., 2012. Complications during shechita and halal slaughter without stunning in cattle. *Anim. Welf.*, 21, 81-86.
- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. 2019a. El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales. Segunda edición. México, Editorial BM Editores. Enero, 2019. Ciudad de México. p.p. 1-881. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>
- Guerrero-Legarreta, I., Rosmini, R., Mota-Rojas, D., Fernández-López, J., Cruz-Monterrosa, R., Pérez-Álvarez, J.A., 2019b. Capítulo 22. Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua. En: Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., & Orihuela, A. (Ed.), *El búfalo de agua en las Américas*. México. BM Editores.
- Guerrero-Legarreta, I., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., 2019c. Capítulo 6. El búfalo de agua productor de carne por el mundo: indicadores productivos y sanitarios. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). *El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales* (192-224), Segunda edición. México, BM Editores.

<https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Guerrero-Legarreta, I., Strappini, A., Mota-Rojas, D., García, I., Ramírez, B.E., Ghezzi, D.M, Cruz-Monterrosa, R., Lázaro de la Torre, C. Mora-Medina, P., Olmos, A.; Lemus, F.C., Gutiérrez, Q., Olvera, L., Flores, P.S., Alarcón-Rojo, A., 2019d. Capítulo 21. Manejo previo a la muerte y calidad de la carne del búfalo. En: Guerrero-Legarreta, I.; Napolitano, F.; Mota-Rojas, D.; Orihuela, A. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 714-758), Segunda edición. México, BM Editores. México. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Cruz-Monterrosa, R., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Ramírez-Bribiesca, E., Bertoni, A., Berdugo-Gutiérrez, J., & Braghieri, A., 2020. River buffalo meat production and quality: sustainability, productivity, nutritional and sensory properties. J. Buffalo Sci. 9, 159-169. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.17>

Hemsworth, P., 2003. Human–animal interactions in livestock production. Appl. Anim. Behav. Sci. 81, 185–198.

Hernández-Avalos, I., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Martínez-Burnes, J., Casas Alvarado, A., Verduzco-Mendoza, A., Lezama-García, K., Olmos-Hernandez, A., 2019. Review of different methods used for clinical recognition and assessment of pain in

- dogs and cats. *Int. J. Vet. Sci. Med.*, 7, 43-54.
<https://doi.org/10.1080/23144599.2019.1680044>
- Hernández-Avalos, I., Flores-Gasca, E., Mota-Rojas, D., Casas Alvarado, A., Miranda-Cortés, A.E., Domínguez-Oliva, A., 2021. Neurobiology of anesthetic-surgical stress and induced behavioral changes in dogs and cats: A review. *Vet. World*. 14(2): 393-404. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.393-404>
- Herzberg, D., Strobel, P., Ramirez-Reveco, A., Werner, M., Bustamante, H., 2020. Chronic Inflammatory Lameness Increases Cytokine Concentration in the Spinal Cord of Dairy Cows. *Front. Vet. Sci.*, 7, 125 <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00125>
- Hui, Y., Guerrero-Legarreta, I., Rosmini, M., 2006. *Ciencia y Tecnología de Carnes*. Editorial Limusa. Ciudad de México. México.
- Hultgren, J., Wiberg, S., Berg, C., Cvek, K., Lunner-Kolstrup, C., 2014. Cattle behaviours and stockperson actions related to impaired animal welfare at Swedish slaughter plants. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 152, 23-37.
- Imlan, J.C., Kaka, U., Goh, Y.M., Idrus, Z., Awad, E.A., Abubakar, A.A., Ahmad, T., Nizamuddin, H.N.Q., Sazili, A.Q., 2020. Effects of Slaughter Knife Sharpness on Blood Biochemical and Electroencephalogram Changes in Cattle. *Animals*, 10, 579. <https://doi.org/10.3390/ani10040579>

- Johnson, C., Gibson, T., Stafford, K., Mellor, D., 2012. Pain perception at slaughter. *Animal Welf.*, 21, 113–122. <https://doi.org/10.7120/096272812X13353700593888>
- King, A.S., 1999. In *The cardiorespiratory system. Foundations of veterinary studies*. Oxford, UK: Blackwell Sci. p. 92.
- Lopes, P.S.S., Campos, A.C.P., Fonoff, E.T., Britto, L.R.G., Pagano, R.L., 2019. Motor cortex and pain control: exploring the descending relay analgesic pathways and spinal nociceptive neurons in healthy conscious rats. *Behavioral and Brain Functions*, 15, 5. <https://doi.org/10.1186/s12993-019-0156-0>
- Mackay, R.D.J., Haskell, J.M., Deag, M.J., van Reener, K., 2014. Fear responses to novelty in testing environments are related to day-to-day activity in the home environment in dairy cattle. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 152, 7-16.
- Mandell, L.A., Niederman, M.S., 2019. Aspiration Pneumonia. *N. Engl. J. Med.* 14;380(7):651-663.
- Manteuffel, G., Puppe, B., Schön, P., 2004. Vocalization of farm animals as a measure of welfare. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 88, 163-182.
- Micera, E., Albrizio, M., Surdo, N.C., Moramarco, A.M., Zarrilli, A., 2010. Stress-related hormones in horses before and after stunning by captive bolt gun. *Meat Sci.*, 84, 634-637.
- Mota-Rojas, D., Becerril-Herrera, M., Gay, J. F. R., Lemus, F. C., Alonso, S. M. L., Ramírez, N.R., 2005. Calidad de la carne, salud pública

- e inocuidad alimentaria. México: Universidad Autónoma Metropolitana Serie Académicos CBS No. 52. 353 pp.
- Mota-Rojas, D., Becerril-Herrera, M., Lemus-Flores, C., et al. 2006. Effects of mid-summer transport duration on pre- and post-slaughter performance and pork quality in Mexico. *Meat Sci.* 73, 404–412.
- Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I., Trujillo, O.M.E., 2010a. Bienestar animal y calidad de la carne. BM Editores. México. p.361.
- Mota-Rojas, D., Alarcón-Rojo, A.D., Vázquez GG., Guerrero-Legarreta, I., 2010b. Músculo oscuro firme y seco en bovinos, mecanismos involucrados. En: Bienestar animal y calidad de la carne. BM Editores. México. p. 271-286.
- Mota-Rojas, D., Becerril-Herrera, M., Alonso-Spilsbury, M., et al. 2012. Effects of long distance transport and CO2 stunning on critical blood values in pigs. *Meat Sci.* 90, 893–898.
- Mota-Rojas, D., Velarde, A., Maris-Huertas, S., Cajiao, M. N. Editors. In: *Animal welfare, a global vision in Ibero-America*. 3rd ed. Barcelona, Spain. 1-516. (Elsevier, 2016).
- Mota-Rojas, D., Ghezzi, D.M, Rosmini, M.R., Thielo de la Vega, L., Hernández-Avalos, I., Cajiao, M.N., Ciocca, J.R., Lezama-García, K., Lemus-Flores, C., Guerrero Legarreta, I., 2019a. Capítulo 19. Signos y reflejos de sensibilidad durante la muerte en búfalos y reses para evaluar la calidad del aturdimiento. En: Guerrero-Legarreta, I.; Napolitano, F.; Mota-Rojas, D.; Orihuela, A. (Eds.).

El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 631-662), Segunda edición. México, BM Editores. México. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Mota-Rojas, D., Strappini, A., Ghezzi, D.M, Hernández-Avalos, I., Rosmini, M.R., Miranda, A., Napolitano, F., Casas, A., Lezama, G.K., Guerrero-Legarreta, I., Ciocca, J., Thielo de la Vega, L., 2019b. Capítulo 20. Calidad de la muerte en búfalos y reses. En: Guerrero-Legarreta, I.; Napolitano, F.; Mota-Rojas, D.; Orihuela, A. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 663-711), Segunda edición. México, BM Editores. México. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Mota-Rojas, D., Ghezzi, M.D., Napolitano, F., Rosmini, M., Guerrero Legarreta, I., Martínez-Burnes, J., Lezama-García, K., Miranda-Cortés, A., Thielo de la Vega, L., Mora-Medina, P., Hernández-Ávalos, I., 2020a. Quality of death in the river buffalo (*Bubalus bubalis*). J. Anim. Behav. Biometeorol. 9, 2115. <https://doi.org/10.31893/jabb.21015>

Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Strappini, A., Orihuela, A., Ghezzi, D.M., Hernández-Ávalos, I., Mora-Medina, P., Whittaker, A., 2020b. Pain at slaughter in ruminants with a focus on the neurobiology of sensitisation. Animals 2020, 11.

<https://www.mdpi.com/search?authors=mota-rojas&journal=animals>

- Muñoz, D., Strappini, A., Gallo, C., 2012. Animal welfare indicators to detect problems in the cattle stunning box. *Arch. Med. Vet.*, 44, 297-302.
- Neves, J.E.G., Paranhos da Costa, M.J.R., Roca, R.O., Faucitano, L., Gregory, N.G., 2016. A note comparing the welfare of Zebu cattle following threestunning-slaughter methods. *Meat Sci.*, 117, 41-43.
- Ossipov, M.H., Dussor, G.O., Porreca, F. 2010. Central modulation of pain. *Journal of Clinical Investigation*, 120, 3779-3787. <https://doi.org/10.1172/JCI43766>
- Organización Mundial de Sanidad Animal –OIE–. 2012. Código Sanitario para los animales terrestres. Título 7. Bienestar de los animales. Disponible en: http://oie.int/esp/normes/mcode/E_summry.htm
- Organización Mundial de Sanidad Animal –OIE–. 2019. Código Sanitario para los animales terrestres. 87.ª Sesión general de mayo de 2019 para la inclusión en la vigésima octava edición del Código Terrestre. ISBN del volumen I: 978-92-95108-92-9
- Paton, R. 2014. Observations on rib fractures in slaughter cattle. *Vet. Rec.*, 175, 123-124. <https://doi.org/10.1136/vr.g4881>
- Probst, J.K., Spengler, Neff, A., Leiber, F., Kreuzer, M., Hillmann, E., 2012. Gentle touching in early life reduces avoidance distance

and slaughter stress in beef cattle. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 139, 42-49.

Regenstein, J.M., Chaudry, M.M., Regenstein, C.E. 2003. The kosher and halal food laws. *Comprehensive Rev. Food Sci. Food Safety*, 2, 111-127.

Robins, A., Pleiter, H., Latter, M., Phillips, C.J.C. 2014. The efficacy of pulsed ultrahigh current for the stunning of cattle prior to slaughter. *Meat Sci.*, 96, 1201-1209.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.10.030>

Romero, P.M.H., Uribe-Velásquez, L.F., Sánchez, V.J.A., 2013. Indicadores conductuales y signos de sensibilidad usados para evaluar el bienestar animal durante el sacrificio de bovinos. *Vet. Zoot.*, 7, 8-27.

Romero, P.M.H., Uribe-Velásquez, L.F., Sánchez, V.J.A., Rayas- Amor, A.A., Miranda-de la Lama, G.C., 2017. Conventional vs modern abattoirs in Colombia: impacts on welfare indicators and risk factors for high muscle pH in commercial Zebu young bulls. *Meat Sci.*, 123, 173-181.

Sabow, A.B., Goh, Y.M., Zulkifli, I., Sazili, A.Q., Kaka, U., Kadi, M Z.A.A., Ebrahimi, M., Nakyinsige, K., Adeyemi, K.D. 2016. Blood parameters and electroencephalographic responses of goats to slaughter without stunning. *Meat Sci.*, 121, 148-155.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.05.009>

Sánchez-Hidalgo, M., Rosenfeld, C., Gallo, C. 2019. Associations between Pre-Slaughter and Post-Slaughter Indicators of Animal

- Welfare in Cull Cows. *Animals*, 9, 642.
<https://doi.org/10.3390/ani9090642>
- San Pedro, E.C., Mountz, J.M., Mountz, J.D., Liu, H., Katholi, C.R., Deutsch, G., 1998. Familial painful restless legs syndrome correlates with pain dependent variation of blood flow to the caudate, thalamus, and anterior cingulate gyrus. *J. Rheumatol.*, 25, 2270 – 2275.
- Schulze, C., Peters, M., Baumgärtner, W., Wohlsein, P., 2016. Electrical injuries in animals: causes, pathogenesis, and morphological findings. *Vet. Pathol.* 53, 1018-1029.
- Shearer, J. 2018. Euthanasia of Cattle: Practical Considerations and Application. *Animals*, 8, 57.
<https://doi.org/10.3390/ani8040057>
- Sikes, R.W., Vogt, B.A., 1992. Nociceptive neurons in area 24 of rabbit cingulate cortex. *J. Neurophysiol.* 68, 1720 – 1732.
- Stojkov, J., von Keyserlingk, M.A.G., Marchant- Forde, J.N., Weary, D.M., 2015. Assessment of visceral pain associated with metritis in diary cows, *J. Dairy Sci.* 98, 5352- 5361.
<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9296>
- Strappni, A.C. 2010. Capítulo 9. Problemas y errores más comunes encontrados en Chile durante el manejo del ganado. En: Bienestar animal y calidad de la carne. Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I., Trujillo, O.M.E. (Eds). Primera edición. BM Editores. México. pp. 157-169.

- Strappini, A.C., Metz, J.H.M., Gallo, C., Frankena, K., Vargas, R., de Freslon, I., Kemp, B., 2013. Bruises in culled cows: When, where and how are they inflicted? *Animal*, 7, 485-491.
- Svhwenk, B.K., Lechner, I., Ross, S.G., Gascho, D., Kneubuehl, B.P., Glardon, M., Stoffel, M.H. 2016. Magnetic resonance imaging and computer tomography of brain lesions in water buffaloes and cattle stunned with handguns or captive bolts, *Meat Sci.* 113, 35- 40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.11.010>.
- Tarrant, P.V. 1990. Transportation of cattle by road. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 28, 153-170.
- Teke, B., Akdag, F., Ekiz, B., Ugurlu, M. 2014. Effects of different lairage times after long distance transportation on carcass and meat quality characteristics of Hungarian Simmental bulls. *Meat Sci.*, 96, 224-229.
- Terlow, E.M.C., Bourguet, C., Deiss, V. 2016. Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part I. Neurobiological mechanisms underlying stunning and killing. *Meat Sci.*, 118, 133-146.
- Uddin, O., Studlack, P.E., Parihr, S., Keledjian, K., Cruz, A., Farooq, T., Shin, N., Gerzanich, V., Simard, J.M., Keller, A., 2019. Chronic pain after blast- induced traumatic brain injury in awake rats. *Neurobiol. Pain*, 6, 100030. <https://doi.org/10.1016/j.ynpai.2019.100030>.
- Villarroel, M., Maria, G.A., Sierra, I., Sanudo, C., Garcia-Belenguer, S., Gebresenbet, G., 2001. Critical points in the transport of cattle

- to slaughter in Spain that may compromise the animals' welfare. *Vet. Rec.*, 149, 173-176.
- Voisinet, B.D., Grandin, T., Oconnor, S.F., Tatum, J.D., Deesing, M.J., 1997. Bos indicus cross feedlot cattle with excitable temperaments have tougher meat and a higher incidence of borderline dark cutters. *Meat Sci.*, 46, 367-377.
- Von Keyserlingk, M.A.G., Rushen, J., De Passillé, A.M., Weary, D.M., 2009. Invited review: the welfare of dairy cattle—key concepts and the role of science. *J. Dairy Sci.* 92, 4101–4111
- von Wenzlawowicz, M., von Holleben, K. 2007. Tierschutz bei der betäubungslos en schlachtung aus religiösen gründen. *Deutsches Tierärzteblatt*, 11, 1374–1388.
- Warner, R.D., Ferguson, D.M., Cottrell, J.J., Knee, B.W. 2007. Acute stress induced by the preslaughter use of electric prodders causes tougher beef meat. *Aust. J. Exp. Agri.*, 47, 782-788.
- Wigham, E.E., Butterworth, A., Woton, S. 2018. Assessing cattle welfare at slaughter – Why is it important and what challenges are faced? *Meat Sci.*, 145, 171-177.
- Woolf, C.J. 2004. Dissecting out mechanisms responsible for peripheral neuropathic pain: Implications for diagnosis and therapy. *Life Sci.*, 74, 2605-2610. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2004.01.003>
- Yaksh, T.L., Woller, S.A., Ramachandranm R., Sorkin, L.S. 2015. The search for novel analgesics: targets and mechanism. *Prime Reports*, 7, 56.

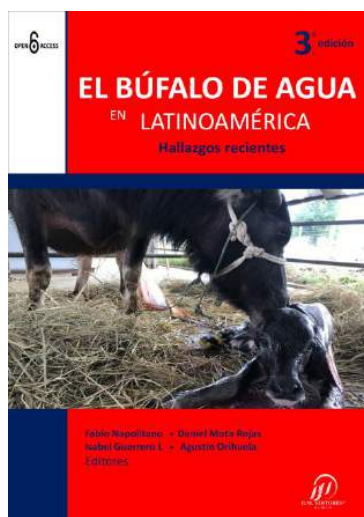
Zulkifli, I., Wakiman, Z., Sazili, A.Q., Goh, Y.M., Jalila, A., Zunita, Z.,
Awad, E.A. 2019. Effect of shackling, electrical stunning and
halal slaughtering method on stress- linked hormones in
broilers, S. Afr. J. Anim. Sci., 49.
<https://dx.doi.org/10.4314/sajas.v49i3.20>



CAPÍTULO 27

ESTRESORES PREVIOS A LA MUERTE Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DE LA CARNE DEL BÚFALO DE AGUA

Fabio Napolitano, Ana Strappini, Efrén Ramírez-Briebesca, Alma Delia Alarcón-Rojo, Rosy Cruz-Monterrosa, Isabel Guerrero Legarreta, Adolfo A. Rayas-Amor, Iván A. García-Galicia, Marcelo Daniel Ghezzi, Marcelino Becerril-Herrera, César Lázaro de la Torre, Patricia Mora-Medina, Clemente Lemus-Flores, Aldo Bertoni, Fabiola Torres-Bernal, Jocelyn Gómez-Prado y Daniel Mota-Rojas



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 27

Estresores previos a la muerte y su efecto en la calidad de la carne del búfalo de agua

Fabio Napolitano¹, Ana Strappini², Efrén Ramírez-Briebesca³, Alma Delia Alarcón-Rojo⁴, Rosy Cruz-Monterrosa⁵, Isabel Guerrero Legarreta⁶, Adolfo A. Rayas-Amor⁵, Iván A. García-Galicia⁴, Marcelo Daniel Ghezzi⁷, Marcelino Becerril-Herrera^{8†}, César Lázaro de la Torre⁹, Patricia Mora-Medina¹⁰, Clemente Lemus-Flores¹¹, Aldo Bertoni¹, Fabiola Torres-Bernal¹², Jocelyn Gómez-Prado¹² y Daniel Mota-Rojas¹²

¹*Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.*

²*Instituto de Ciencia Animal. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.*

³*Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.*

⁴*Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.*

⁵*Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-L. Lerma. México.*

⁶*Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-I. Ciudad de México. México.*

⁷*Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.*

⁸*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México. [†]En su Memoria.*

⁹*Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.*

¹⁰*Departamento de Ciencias Pecuarias, FESC. Universidad Nacional Autónoma de México. México.*

¹¹*Calidad de la Carne de animales de granja especialmente en animales criollos. Nutrigenómica en el Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias. Universidad Autónoma de Nayarit (México).*

¹²*Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.*

INTRODUCCIÓN

En muchos países, la mayoría de los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) destinados a la matanza para el abasto, son animales que han llegado al final de su vida productiva: viejos, débiles, flacos o no aptos para el trabajo (Guerrero Legarreta et al., 2019a,b,c,d,e; Alarcón-Rojo et al., 2020; Guerrero Legarreta et al., 2020; Cruz-Monterrosa et al., 2020). De ahí que la percepción generalizada por parte de los consumidores es que la carne de búfalo es de “pobre calidad” cuando se compara

con la carne de bovino (*Bos taurus*) (Moran, 1992; de Franciscis y Moran, 1992; Guerrero Legarreta et al., 2019a,b,c,d,e). Por otro lado, la creciente producción de carne de búfalo para el abasto ha demostrado tener mejores características nutrimentales. Por esta razón, se demanda una mejor cadena de comercialización; sin embargo, para ello es necesario incentivar la matanza de animales jóvenes, clasificar la canal y caracterizar su carne. De esta manera, se estará en posibilidad de estandarizar el producto, así como crear una identidad de esta especie en los puntos de venta de carne (Andrighetto-Canozzi et al., 2016; Guerrero Legarreta et al., 2019a,b,c,d,e).

El mercado de la carne del búfalo de agua es un gran reto para los productores e investigadores, quienes, en conjunto, pueden proveer de la información necesaria para determinar no sólo las características nutrimentales, la calidad comercial y sobre todo, la cadena de comercialización. Por lo tanto, este producto debe ser abordado multi e interdisciplinariamente para que se consideren a detalle todos los puntos de la cadena productiva, desde la granja hasta la mesa (Guerrero Legarreta et al., 2020). En cuanto al producto final, la carne de esta especie se ha comparado con la del bovino tradicional destinado a la producción cárnica y al parecer la proveniente de búfalo, tiene características que la hacen competitiva. Entre éstas, destaca que la carne de búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) presenta propiedades fisicoquímicas que la hacen más aceptable para el consumidor tales como la coloración de un rojo más intenso, el

contenido de proteína es más alto en comparación con la de res (Robertson et al., 1983) y su mayor proporción en grasa poliinsaturada que supone un menor riesgo para la salud humana (Sharma et al., 1986). Además, la terneza de la carne de búfalo de agua tiene mayor aceptación que la de razas europeas de bovino cruzadas con cebú (*Bos indicus*) (Neath et al., 2007a,b). Sin embargo, aún cuando se tienen características generales del producto, no están bien descritas las bondades de la producción primaria de búfalos de agua destinados al abasto de carne, así como las características nutricionales, fisicoquímicas y sanitarias detalladas del producto final (Guerrero Legarreta et al., 2019a,b,c,d,e).

Por otro lado, la valoración de la carne de búfalo varía mucho de un país a otro, y dentro de los países entre las diversas regiones. Por otro lado, los bajos precios ofertados para la carne de búfalo por algunas empresas comercializadoras podrían limitar el interés a producir esta especie por parte de los ganaderos (Hoogesteijn y Hoogesteijn, 2008; Guerrero Legarreta et al., 2019a,b,c). Sin embargo, dadas sus características productivas como la precocidad, la fertilidad, longevidad de la especie y el alto rendimiento en canal podrían ser competitivos aún incluso con precios bajos, siempre y cuando exista un mercado eficiente y que el consumidor demande la carne (Hoogesteijn y Hoogesteijn, 2008; Guerrero Legarreta et al., 2019b).

Una vez que los animales destinados al abasto de carne, ya sea el búfalo de agua o el ganado del género *Bos taurus*, y otros animales destinados con este mismo fin zootécnico han cumplido el peso de

finalización a la engorda, los pasos siguientes pueden como en cualquier otra especie animal comprometer su bienestar, tal es el caso del embarque, transportación y desembarque previo a su llegada al matadero, así como las propias fases dentro de la planta de faenado. Dichas etapas, en su conjunto, conforman un grupo de estresores acumulativos que pueden afectar la calidad de la carne (Mota-Rojas et al., 2010a,b).

En este sentido, se han realizado estudios para determinar los efectos que los diferentes eslabones de cadena productiva tienen sobre la carne. Así, en diversos países, tal como sucede con otras especies destinadas al abasto de carne, se ha determinado que el transporte por carretera es el más utilizado para trasladar animales de las unidades productivas al matadero. En la India, se ha señalado que la manipulación y el transporte inadecuados son estresantes para los animales y tienen implicaciones para su bienestar, además de que contribuyen al deterioro de la calidad de la carne, los cuales están relacionados con el estrés o golpes durante el manejo y repercuten en la calidad comercial del producto con una mayor frecuencia de presentación del corte oscuro de la carne y en el daño a la canal por magulladuras o hematomas, o encogimiento, respectivamente (Chandra y Das, 2001a,b; Guerrero Legarreta et al., 2002; Alarcón-Rojo y Duarte-Atondo, 2006; Guerrero Legarreta y Totosaús, 2006; Mota-Rojas et al., 2010a,b; Guerrero Legarreta et al., 2019b).

Con respecto a la bioquímica de la canal y el pH, se ha reportado que el músculo del ganado bovino del género *Bos*, con un nivel superior a

6.0 a las 24 horas (pH_{24}) *post-mortem*, denominado carne DFD (oscura, firme y seca) lo cual representa un problema de calidad e inocuidad, ya que es una característica indeseable para el consumidor y causa importantes pérdidas económicas en la industria cárnica por el rápido deterioro (Mach et al., 2008). Este defecto (Carne DFD) se presenta cuando el pH final (pH_f) (medido de 12-48 horas) *post-mortem* es ≥ 6 , valores que dependen de la especie animal pero que en todos los casos permite las condiciones microambientales para el crecimiento bacteriano, lo cual corta la vida de anaquel de la carne (Apple et al., 2005; Warris, 2000; Mota-Rojas et al., 2010a,b; Alarcón y Duarte-Atondo, 2010; 2020).

El término DFD es generalmente aplicado a la de carne de cerdo, pero cuando este defecto se presenta en la carne vacuna, el término que se aplica es “corte oscuro” (Prince et al., 1994; Southern et al., 2006; Mota-Rojas et al., 2005; Mota-Rojas et al., 2010a,b). Sin embargo, esta alteración en la carne debido a la tonalidad color rojo oscuro con un pH por encima de 6.0 a las 24 horas *post-mortem* (pH_{24}) (Mach et al., 2008; Pérez Linares et al., 2006), presenta además modificaciones en las características sensoriales e instrumentales tales como un incremento en la variación de la terneza y de la capacidad de retención de agua (seca), palatabilidad pobre, textura más firme, absorbe más luz; así como en la inocuidad debido a niveles inaceptables, que sobrepasan los límites permisibles en las cuentas de microorganismos, los cuales pueden tener implicaciones la alteración del producto, con desarrollo de olor desagradable y a menudo

compromete la calidad tecnológica en el producto ya que presenta una formación cerrada y absorbe lentamente las sales curantes utilizadas en la producción de derivados cárnicos (Grandin, 1997; Mach et al., 2008; Prince et al., 1994; Alarcón-Rojo y Janacua-Vidales, 2010; Loredó-Osti et al., 2019; Mahmood et al., 2019). Asimismo, este defecto al ser una causa de la reducida vida anaquel del producto por presentar una apariencia, seca o pegajosa característico de la condición DFD (Scanga et al., 1998; Pérez-Linares et al., 2008; Mota-Rojas et al., 2005, 2010a,b). En la actualidad el aumento de la frecuencia de carne DFD en el mercado ha ocasionado una difícil comercialización del producto debido a que el consumidor, por su color, la cataloga como carne vieja (Pérez-Linares et al., 2008).

El mecanismo bioquímico para una carne con un pH_{24} elevado tiene su origen en la depleción de glucógeno pre-sacrificio, lo cual está estrechamente relacionado a un mal manejo humano hacia el animal esto es, en condiciones de estrés físico y mental en el proceso *ante-mortem*, lo cual favorece la glucólisis a nivel muscular (Alarcón-Rojo y Duarte-Atondo, 2006; Alarcón-Rojo y Janacua-Vidales et al., 2010). Se han reportado varios factores de estrés como responsables de la reducción (depleción) del glucógeno tales como tiempo prolongado y manejo brusco durante el transporte de la finca (granja) a la planta de matanza, mayor tiempo de espera en el matadero, condiciones climáticas adversas, ruptura social y el ambiente novedoso antes de la matanza (Schaefer et al., 2001; Önenç, 2004; Ferguson y Warner, 2008; Mach et al., 2008; Mota-Rojas et al., 2006; Mota-Rojas et al.,

2010a,b; Loredó-Ostí et al., 2019; Mahmood et al., 2019). Todo lo cual favorece el uso de glucógeno por el animal en vivo como una fuente de energía para enfrentar el entorno adverso y, subsecuentemente en la canal, este gasto energético acorta la vida de anaquel del producto. Cabe resaltar, sin embargo, que la concentración de glucógeno también varía ampliamente al momento de la matanza dependiendo del género, tipo de raza y temperamento del animal, tiempo transcurrido de la falta de consumo alimenticio *ante-mortem* (ayuno), peso vivo, estatus nutricional, tipo de músculo analizado, tipo de fibra, capacidad amortiguadora del músculo, entre otros (Ferguson y Warner, 2008; Mach et al., 2008), información que es bien conocida en el *Bos taurus*, que debe ser igualmente conocida para el búfalo de agua.

Como se ha podido determinar en otras especies destinadas al abasto, el transporte es uno de los puntos críticos *ante-mortem* a los que se enfrentan los animales; sin embargo en los búfalos, siendo animales que normalmente no son transportados, el estrés es patente debido a que se involucra una serie de eventos novedosos que implican estrés, los cuales comprometen no sólo el bienestar del individuo, sino la calidad del producto (Guerrero Legarreta et al., 2019a,b,c,d,e). La transportación de los animales es un proceso complejo que incluye al menos, ayuno, arreo (**Figura 1**), embarque (**Figura 2**), confinamiento, movimiento, la descarga y el confinamiento en los corrales de espera en el rastro (Guerrero Legarreta et al., 2019a,b). Durante el traslado de los búfalos de agua, mantener el equilibrio corporal dentro del camión

en movimiento es importante con respecto al riesgo asociado con lesiones (Chandra y Das, 2001) y dependiendo del tiempo y tipo de camino también favorece el desgaste muscular para mantenerse en equilibrio, lo cual facilita el uso previo de glucógeno *ante-mortem* y la presencia de defectos en la carne. Por ello, debido a la importancia que ejercen los factores *ante-mortem* en la calidad de la carne, el presente capítulo describe los mecanismos de acción de los cambios enzimáticos *post-mortem* y su efecto en la carne de búfalos y reses.



Figura 1. A y B. Arreo del potrero al corral pre-embarque. C. Contención del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) previo al embarque. D. Manga de embarque para traslado al matadero o rastro, el camión está siendo cargado.

PROCESOS FISIOLÓGICOS DEL MÚSCULO DFD

Para entender los efectos en la carne, es importante considerar los factores que intervienen en el defecto DFD. En este sentido, Irurueta et al. (2008), estudiaron, a través de un panel, carne magra de búfalos del Delta del Paraná, Argentina, mayormente de las razas Mediterránea y Murrah. Se midió la suavidad y masticabilidad durante

la maduración *post-mortem*. Entre los hallazgos se pudo determinar que si bien estas variables aumentaron sus valores con el tiempo, cuando fueron evaluadas sensorialmente, las calificaciones de los panelistas para sabor y olor no se afectaron. Cabe hacer mención que aun cuando se reportaron algunas notas con presencia de sabores y olores extraños, los cambios en el color fueron similares a los de carne de res. Este estudio permitió concluir que las propiedades fisicoquímicas de la carne magra de búfalo y de res son similares. Sin embargo, la grasa de búfalo es más blanca, y la carne es más oscura en comparación con la carne de res. Lo anterior debido a que en la carne de búfalo la pigmentación es mayor y menos concentración de grasa intermuscular cuando es comparada con la res. Los paneles sensoriales indican que la suavidad en ambas especies también es similar. Sin embargo, el búfalo mantiene la suavidad de la carne por más tiempo durante la maduración si se compara con la de res debido a que la dureza del tejido conectivo del búfalo se genera más tardíamente, es decir a mayor edad de los animales que en la res (Guerrero Legarreta et al., 2019a,b,c,d,e; Guerrero Legarreta et al., 2020; Alarcón-Rojo et al., 2020; Cruz-Monterrosa et al., 2020).

La edad de los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) a la matanza es un elemento a considerar, ya que a mayor edad se pueden acumular más grasas indeseables como las del tipo interna o subcutánea. En el búfalo y la res, la desposición de grasa está influenciada por el tamaño de los adipocitos, lo que además se relaciona con la proporción de energía en la dieta, la edad y peso del animal a sacrificio. Debido a ello, el

porcentaje de grasa intramuscular en el búfalo de agua puede ser más baja que la del bovino tradicional del género *Bos* (Irurueta et al., 2008; Peixoto et al., 2012; Guerrero Legarreta et al., 2019a,b).

En cuanto al pH, el músculo del animal vivo se encuentra en valores cercanos a 7 y con la muerte, por falta de oxígeno se activa la glucólisis anaerobia produciéndose ácido láctico, lo que provoca el descenso del pH muscular hasta un valor promedio de 5.5 en muestras refrigeradas (Lawrie, 1982; Alarcón y Duarte 2006; Mota-Rojas et al., 2005; Pérez Linares et al. 2006; Mota-Rojas et al., 2010a,b). Cabe señalar que la afección DFD ocurre cuando los valores de pH₂₄, es decir, 24 h *post-mortem* son altos y aparece en animales que cursaron por un estrés crónico, lo cual propició la utilización del carbohidratos musculares impidiendo que haya una suficiente concentración de ácido láctico muscular y con ello, que los valores de pH sean de 6.0 a las 24 horas después de la matanza (Tarrant, 1989, citado por Guardia et al. 2005). Aunque, Wulf et al. (1997) citado Pérez-Linares et al., (2008) mencionan que el pH a las 24 horas *post-mortem* puede alcanzar valores de pH $\geq$ a 5.8 (Alarcón-Rojo y Duarte-Atondo, 2006; Alarcón-Rojo y Janacua-Vidales et al., 2010).

La carne de búfalo de agua mantenida en refrigeración, presenta valores de pH alrededor de 6.0 o ligeramente mayores, lo que la mantienen en un rango muy próximo a la carne DFD o corte oscuro. Posiblemente debido o asociado a múltiples factores vinculados o alineados con el estrés crónico ocasionado por el efecto aditivo del ayuno, embarque, transporte, desembarque, arreo al cajón de

noqueo, uso de gritos, palos y arreadores eléctricos, entre otros los cuales influyen determinantemente en el agotamiento del glucógeno muscular, reduciendo la acumulación de ácido láctico necesario e indispensable para la transformación del músculo en carne, con consecuencias sobre las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de la carne de búfalo y res (Guerrero Legarreta et al., 2002; Naveena et al., 2003; Mota-Rojas et al., 2005; Mota-Rojas et al., 2006; Alarcón-Rojo y Duarte-Atondo, 2006; Guerrero Legarreta y Totosa, 2006; Tateo et al., 2007; Lapitan et al., 2008; Becerril-Herrera et al., 2009; Mota-Rojas et al., 2009; Mota-Rojas et al., 2010a,b; Mota-Rojas et al., 2012; Guerrero Legarreta et al., 2019a,b).

Por lo tanto, si el corte oscuro se relaciona directamente con una disminución de la concentración de glucógeno muscular y hepático (Gallo y Lizondo, 2000, Gallo y Tadich, 2005), el riesgo de presentar problemas de calidad se incrementa en la medida en que los animales se mantienen además, por tiempos prolongados privados de alimento (Mota-Rojas et al., 2010a,b) debido al ayuno como una práctica relacionada con la inocuidad del producto.

Normalmente la energía requerida para la actividad muscular en un animal vivo se obtiene del glucógeno presente en el músculo. En un animal sano y descansado, el nivel de glucógeno muscular es alto. Una vez muerto el animal, el músculo y la canal pasan a la fase de *rigor mortis* y el glucógeno se degrada por la vía anaerobia, convirtiéndose

en ácido láctico. Este proceso favorece entonces la transformación de músculo a carne, con las propiedades organolépticas idóneas de calidad: suave, de buen sabor y coloración apropiada, así como las tecnológicas (Grandin, 1997; Guerrero Legarreta et al., 2002; Naveena et al., 2003; Mota-Rojas et al., 2005; Mota-Rojas et al., 2006; Alarcón-Rojo y Duarte-Atondo, 2006; Guerrero Legarreta y Totosa, 2006).

Cabe resaltar que la concentración de ácido láctico además, tiene una influencia directamente en la vida de anaquel de la carne. El ácido láctico en el músculo se puede considerar como un bacteriostático natural debido a que retarda el crecimiento bacteriano que contamina la canal durante su procesamiento y conservación (Southern et al. 2006); pero cuando los animales se exponen a diversos factores de estrés, esto reaccionan mediante una descarga de hormonas que encuentran sus receptores en la glándula adrenal, liberando adrenalina asociada a estrés agudo a partir de la médula y 17-hidroxí y 11-desoxi-corti-costerona de la corteza adrenal en condiciones de estrés crónico. Estas hormonas inducen en el animal una serie de respuestas típicas denominadas de lucha y huida, las cuales tienen efecto en el metabolismo catabólico de los carbohidratos. La adrenalina agota el glucógeno y el potasio del músculo, y la 17-hidroxí-corticosterona y 11-desoxi-corticosterona restauran, respectivamente, el nivel normal de estas sustancias. La liberación de estas hormonas glucocorticoides se halla controlada por la ACTH segregada por la hipófisis cuando el animal percibe estímulos estresores del ambiente y, a su vez, la producción de ACTH se halla controlada por un factor

liberador producido en el hipotálamo (Harris et al., 1966 citado por Lawrie, 1977). Todo ello conduce a un rápido consumo de ATP y de glucógeno *ante-mortem*. Las sustancias liberadas de la degradación tanto aerobia como anaerobia del glucógeno (CO_2 , ácido láctico, respectivamente) son arrastradas por el torrente circulatorio y cuando se lleva a cabo la muerte del animal, en el músculo puede permanecer una pequeña cantidad de glucógeno o haberse previamente consumido en su totalidad; esta situación conduce a un estado *post-mortem* en el que no existe o es mínima la producción de ácido láctico, y por tanto la acidificación de la carne es deficiente (Lawrie, 1977; Prädli et al., 1994; Grandin, 1997; Vartnam y Sutherland, 1998; Wulf et al., 2002; Guerrero Legarreta et al., 2002; Southern et al. 2006; Mota-Rojas et al., 2005; Mota-Rojas et al., 2006; Alarcón-Rojo y Duarte-Atondo, 2006; Guerrero Legarreta y Totosaús, 2006; Alarcón-Rojo et al., 2020). Además, se ha demostrado que el incremento de lactato en sangre en reses responde al manejo y al transporte que cursa con estrés y puede ser un indicativo de la actividad glucogenolítica muscular y gluconeogénica hepática. Asimismo, las concentraciones de glucosa sanguínea se incrementan rápidamente desde unos segundos hasta 1 hora después de iniciado el estrés, como efecto catabólico del metabolismo de los carbohidratos durante la pérdida de las reservas de energía por glucocorticoides y catecolaminas (Apple et al., 2005).

Probablemente, la glucólisis *post-mortem* y el pH_f disminuyen hasta un nivel tope, que puede verse mediado por las condiciones de

almacenamiento en refrigeración en las que pueden presentarse dos situaciones: 1) se agotan los almacenes del glucógeno del músculo o 2) el pH disminuye aproximadamente hasta alcanzar valores de 5.45; este pH bajo inhibe la actividad de enzimas glicolíticas (Wulf et al., 2002; Guerrero Legarreta et al., 2002); sin embargo, otros metabolitos derivados de los carbohidratos presentan variaciones frente a estímulos estresores.

Partida et al. (2007), observaron en bovinos (*Bos*) que al momento de la matanza, cuando los toros fueron expuestos a condiciones de estresantes, todos los parámetros fueron significativamente más altos: niveles plasmáticos de cortisol (133%), creatinquinasa (90%), lactato (86%) y glucosa (38%) en comparación a los animales que se encontraban en la finca (rancho).

El efecto del estrés en la matanza sobre los niveles relativamente menores de glucosa en sangre en los toros puede ser debido a que la disponibilidad de glucosa sanguínea en los rumiantes es mucho menor que en los monogástricos, ya que la mayoría de la energía proviene de ácidos grasos volátiles (Tarrant, 1989; Partida et al., 2007). Por otro lado, los elevados niveles de lactato a la matanza son el resultado de la degradación de glucógeno muscular causada por el estrés *ante-mortem*. El pronunciado aumento de creatina-cinasa (CK) en plasma puede estar asociado con los daños musculares y el estrés físico causado por los procesos de carga, transporte, descarga, y la permanencia de los toros en los corrales de espera y a que el animal ya

ha agotado otras rutas metabólicas (Van de Water et al., 2003, Partida et al. 2007; Mota-Rojas et al., 2010a,b).

REACCIONES ENZIMÁTICAS *POST-MORTEM* DEL CORTE OSCURO

Como se mencionó anteriormente, la carne DFD se caracteriza por ser oscura firme y seca (Prince et al., 1994); sin embargo, el aroma y sabor de este defecto DFD es débil en comparación con una carne normal. Sin embargo, se ha afirmado que esta carne tiene un sabor jabonoso, lo cual puede deberse a la pérdida de precursores, como azúcares libres resultado del estrés, o por el efecto directo del valor alto del pH sobre la formación tanto de precursores como de compuestos finales relacionados con el aroma y sabor de la carne (Prince et al., 1994; Vartnam y Sutherland, 1998; Wulf et al., 2002; Guerrero Legarreta et al., 2002).

Otro elemento de la calidad de la carne es el pH como un indicador de las características organolépticas y de su aptitud para la transformación de la carne en otros productos procesados, ya que tiene una influencia directa o indirecta sobre el color, la terniza, el sabor, la capacidad de retención de agua y la conservabilidad (Wirth, 1987; Hofman, 1988, Gallo y Tadich, 2005; Guerrero Legarreta et al., 2019a,b; Cruz-Monterrosa et al., 2020).

Investigaciones de la década pasada realizadas por Neath et al. (2007b) demuestran que el pH de la carne del búfalo es ligeramente más alto (6.7) en comparación con el pH de la carne de ganado bovino

Brahman (6.4). Esto puede explicarse debido a que los procesos bioquímicos *post-mortem* se dan más lentamente en la carne de búfalo de agua como lo sugieren los valores siguientes. La carne de búfalo regularmente alcanza un pH de 5.4 -5.6, 48 horas *post-mortem*, en tanto que la carne de res alcanza estos mismos valores, 24 horas antes.

De las modificaciones de color y pH dependen procesos tecnológicos tan importantes como el envasado al vacío de la carne, por lo cual los problemas derivados del estrés, más que afectar directamente al consumidor, es un factor que directamente compromete a industriales y procesadores (Gallo y Tadich, 2005).

En lo que se refiere a la capacidad de retención de agua de la carne, ésta tiende a perderse al disminuir el valor de pH debido a la reducción de las uniones iónicas. La intensidad de la reflexión de la luz está relacionada con la estructura muscular y parece que depende del volumen miofibrilar. La carne oscura firme y seca tiene una capacidad de reflexión muy limitada permitiendo a la luz incidente penetrar a una distancia considerable. Por el contrario, se produce una absorción considerable por la mioglobina, pigmento básico de la carne, y la carne parece oscura (Vartnam y Sutherland, 1998).

En cuanto a la terneza de la carne, ésta influye y puede ser definitiva o decisiva en decisión de compra por el consumidor. Esta propiedad de la carne tiene diversos factores predisponentes que la pueden modificar, desde la cantidad de tejido conectivo, porcentaje de grasa

intramuscular, concentración de proteínas antioxidantes, grado de estabilidad del complejo acto-miosina durante los procesos bioquímicos *post-mortem* resultado de enzimas proteolíticas, especialmente durante el proceso de *rigor mortis* (Guerrero Legarreta et al., 2002; Naveena et al., 2003; Alarcón-Rojo y Duarte-Atondo, 2006; Mota-Rojas et al., 2005, 2006; Guerrero Legarreta y Totosaús, 2006; Mota-Rojas et al., 2010a,b; Kanatt et al., 2015; Naveena et al., 2011a,b; Schilling et al., 2017; Guerrero Legarreta et al., 2019a,b).

El defecto de corte oscuro es un problema serio ya que está sujeta a un mayor riesgo de alteración microbiana, ya que la ausencia de glucosa en la superficie de estas carnes permite a la microflora atacar y degradar antes los aminoácidos, dando lugar a compuestos de olor intenso en el proceso de deterioro (Prince et al., 1994; Vartnam y Sutherland, 1998); sin embargo, salvo la implicación en la inocuidad por agentes bacterianos, es perfectamente aceptable para la elaboración de algunos productos cárnicos que pueden ser sometidos a tratamientos térmicos para eliminar esta flora microbiana indeseable (Vartnam y Sutherland, 1998; Guerrero Legarreta y Totosaús, 2006).

Considerando la flora microbiana contaminante, adicionalmente esta carne DFD, tiene un alto nivel de descomposición, por tanto su vida en anaquel es reducida por sus niveles de pH anormalmente altos (6.4–6.8) (Newton y Gill, 1981 citados por Warris, 2000; Grandin, 1997; Ylä-Ajos y Puolanne, 2007). Esto es por dos razones, la carne DFD con poca concentración de ácido láctico propicia un pH elevado y como consecuencia no existe una barrera microambiental que impida el

crecimiento bacteriano. La flora alterante tiende a metabolizar carbohidratos y proteínas, produciendo un olor desagradable (Prince et al., 1994; Guerrero Legarreta y Totosa, 2006). El riesgo de descomposición es una complicación seria en productos crudos. Por otro lado, la carne con un pH alto puede ser un problema si es empacada al vacío debido a que es común observar una coloración verde asociada con la formación de sulfamioglobina. Esto causado por la reacción del pigmento “Hemo” de la mioglobina con el sulfuro de hidrógeno producido por las bacterias en condiciones anaeróbicas (Taylor y Shaw, 1977, Warris, 2000; Guerrero Legarreta y Totosa, 2006).

Además, en estudios en calidad desarrollados con la carne de búfalo, indican pocas diferencias en el contenido de actividad de calpastatina, y calpaínas 1, 2 (Neath et al., 2007a,b), que también es un área de oportunidad para el desarrollo de investigaciones en búfalo de agua, por ser indispensables en la transformación del músculo y en la terneza de la carne (Bosques et al., 2015).

El defecto DFD produce carne con aromas intensos como; rancio/mohoso, suero sanguíneo (Miller, 2001; Calkins y Hodgen, 2007). Sin embargo, esta característica organoléptica es similar a la que se ha encontrado en carnes procesadas con altos niveles de sodio y fosfato (Calkins y Hodgen, 2007).

En lo que respecta a la textura y aspecto de la carne también están influenciados por los valores del pH_f (Jeleníková et al., 2008). El músculo DFD presenta una estructura cerrada, de manera que la

difusión de sales se dificulta, a causa de su elevado valor final de pH, la duración de conservación se ve disminuida y no es apropiada para la elaboración de productos duraderos; sin embargo, por el alto valor del pH, esta carne presenta una mayor proporción de retención de agua y puede ser utilizada en la elaboración de productos cárnicos cocidos (Prädl et al., 1994; Guerrero Legarreta y Totosa, 2006; Ylä-Ajos y Puolanne, 2007).

FACTORES PREDISPONENTES: AYUNO, TRANSPORTE Y CONDICIONES AMBIENTALES

Dentro de los factores que propician un músculo DFD; son largos periodos sin alimento (ayuno prolongado) o fatiga causada por periodos prolongados de transportación de los animales bajo condiciones inadecuadas, las cuales pueden desencadenar peleas que ocurren cuando los animales de diferentes hatos se mezclan ya sea en el camión transportador o en los corrales de descanso (Silva et al., 1999; Grandin, 1997; Warris, 2000; Alarcón-Rojo y Janacua-Vidales, 2010; Pérez-Linares et al., 2008). Otros aspectos relacionados están el manejo (durante la carga y descarga) y la novedad del ambiente o el género de los animales que causan un agotamiento físico o un estrés fisiológico (Kent y Ewbank, 1983; Grandin, 1997; Guerrero Legarreta y Totosa, 2006; Mounier et al., 2006; Ferguson y Warner, 2008; Jeleníková et al. 2008; Pérez-Linares et al., 2008; Mota-Rojas et al., 2010a,b). Estas condiciones afectan negativamente la calidad de la

carne (Broom, 2003; Mounier et al., 2006; Alarcón-Rojo y Janacua-Vidales, 2010; Alarcón-Rojo et al., 2020).

Ayuno

Una práctica que se inició para evitar el fraude durante el pesaje para la venta de animales era el ayuno, es decir, el acto de abstener a los animales total o parcialmente de comer o beber, por un periodo de tiempo determinado. Actualmente además de cumplir con esta función, tiene implicaciones de bienestar, sanitarias en el animal en vivo y de inocuidad para el producto, debido a que animales que son ayunados, presentan en menor proporción mareo por transporte y reduce la probabilidad de que el contenido intestinal contamine la canal al realizar la evisceración, respectivamente.

El ayuno en los rumiantes tiene en general menos efectos que en otras especies, debido a que el rumen actúa como reservorio de nutrientes y ácidos grasos volátiles (Warris, 1990; Gallo y Tadich 2005). Sin embargo, la pérdida de las reservas energéticas puede llevar a la depleción del glucógeno hepático y muscular, lo que facilita la presentación de problemas de calidad en la carne tales como el corte oscuro (DFD) (Ferguson y Warner, 2008). Un estudio hecho en 1138 novillos por Janloo et al. (1998), citado por Hargreaves et al. (2004) dio como resultado que los animales que fueron sometidos a ayuno por 24 h después del transporte triplicaron la incidencia de cortes oscuros en

comparación con aquellos que no fueron sometidos a ayuno previo al sacrificio. En novillos, luego de 16 h de transporte y un reposo en ayuno de 24 h previo a la matanza, se produce una disminución significativa del β -HBA, característica de metabolismo energético relacionado con privación de alimento (Tadich et al., 2005; Gallo y Tadich 2005). Por lo tanto, en este estudio se concluye que no hay un efecto benéfico de los reposos prolongados en el matadero sobre el bienestar de los animales. Además, de que estos periodos de tiempo de privación como éste o más prolongados, tienen efectos negativos en la calidad de la carne (Alarcón-Rojo et al., 2020).

Condiciones Ambientales

De igual forma las condiciones ambientales adversas pueden potencializar el estrés en los animales destinados al abasto de carne ya que se considera que el ganado es más sensible a las temperaturas ambientales elevadas en comparación con las relativamente bajas; sin embargo, se ejerce mayor estrés cuando hay cambios bruscos de temperatura, lo cual influye en las características y calidad tanto de la canal como de la carne (Kadim et al., 2004). En este aspecto, en un estudio realizado por Kreikemeier et al. (1998), encontraron que los porcentajes de presentación de carne DFD durante los meses de Octubre a Febrero, eran desde 0.43% a 0.69%.; por el contrario, Grandin (1992 y 1993), observó un elevado porcentaje de carne DFD en climas muy fríos combinado con precipitación pluvial, lo que se

atribuye a un porcentaje incrementado de pérdida de calor corporal y gasto energético muscular por escalofríos.

Transporte

Como se ha podido describir, el estrés que se genera en los animales por la falta de alimento o agua, ruidos no familiares, la amenaza de peligro por ambientes novedosos, la fatiga, el calor o el frío, movimientos durante el transporte, las restricciones de espacio y otras condiciones presentes durante el transporte, pueden tener importantes efectos sobre la calidad de la carne (Ferreira et al. 2006; Gallo, 1994, citado por Hargreaves et al. 2004; Gallo y Tadich 2005; Guerrero Legarreta y Totosa, 2006).

Uno de estos puntos críticos es el tiempo entre el traslado de animales del lugar de crianza al matadero y al momento de sacrificio, ya que pueden ser desde (1 a 48 h) lo cual tiene un impacto importante sobre la calidad de la canal y de la carne (Mota-Rojas et al., 2010a,b). En la **figura 2**, se puede apreciar el embarque de los búfalos de agua, desde el arreo al potrero, la contención, la manga previa al embarque y transporte y finalmente el búfalo en el corral de espera en el matadero.

Durante el transporte y en general en el período *ante-mortem* también se ve involucrada la pérdida de peso vivo y la pérdida de peso en canal, así como el rendimiento y el grado de calidad, especialmente se incrementa la proporción de las canales de baja calidad a causa de defectos tales como carne DFD o corte oscuro (Schaefer et al, 2001; Guerrero Legarreta et al., 2019a,b). En este sentido Novoa (2003, citado por Gallo y Tadich 2005) encontraron que la faena inmediata de novillos con transporte previo de 3 y de 16 h, dio mejores resultados en términos de pH muscular que aquellos animales con un reposo previo de 12 h.

Las condiciones en las que se lleva a cabo proceso de transporte tienen implicaciones sobre el peso de los animales y la presencia de defectos en la carne (Alarcón-Rojo et al., 2020). Resultados de Pérez-Linares et al., (2006), mencionan que más de 35 minutos de tiempo para cargar los animales al transporte; temperaturas ambientales durante la conducción del transporte por encima de 16°C, se asocia con músculo DFD o corte oscuro. Además, estos mismos autores encontraron que durante la etapa de transporte, propiamente dicho, el factor más relacionado a desarrollar carne DFD, fue la mezcla de animales de diferentes hatos de producción.

En cuanto a la pérdida de peso vivo, en el caso del búfalo de agua, Zava (2011), menciona que cuando es transportado distancias largas,

superiores a 700 km, el búfalo puede perder entre el 7 y 9 % de su peso corporal.

Otro factor involucrado es la densidad de carga utilizada para el transporte de los animales, ya que también puede afectar las concentraciones de algunas variables sanguíneas (Knowles, 1999, Gallo y Tadich 2005). Tadich et al. (2003b) estudiaron el efecto de la densidad de carga (400 Vs. 500 kg/m²) sobre la concentración sanguínea de algunas variables indicadoras de estrés en novillos transportados por 3 y 16 h, encontrando que la densidad de transporte de 500 kg/m² produjo concentraciones más altas de cortisol (P=0.0021), glucosa (P=0.039) y CK (P=0.024) a la llegada a la planta faenadora o matadero.

Estas diferencias se mantuvieron hasta después del reposo de 12 h para el cortisol y CK, mientras que la glucosa sanguínea al término de las 12 h recuperó los valores iniciales.

El factor de ayuno puede ser aditivo con otras prácticas *ante-mortem* sobre la calidad de la carne y se ha reportado en diferentes especies animales. Horton et al. (1996) investigaron el efecto del transporte más ayuno, frente al ayuno solo en ovinos, encontrando que las concentraciones de cortisol sanguíneo fueron más altas en los animales transportados y ayunados en comparación con lo que sólo ayunaron, lo que estaría indicando una carga de estrés adicional en el transporte.

Resultados similares en bovinos fueron reportados por Tadich et al. (2003b), quienes evidenciaron un incremento en las concentraciones de VGA, glucosa y CK en novillos que se mantuvieron sin alimento y transportados en camión, en comparación con animales confinados en corrales que solamente estuvieron privados de alimento durante el mismo tiempo.

Otro estudio realizado en Chile, destaca que entre los principales factores de riesgo en la frecuencia de presentación de corte oscuro es una relación positiva entre el tiempo de ayuno y el tiempo de transporte (Amtmann et al., 2004, Gallo y Tadich 2005). Gallo y Tadich (2005) concluyen que se deben evitar no sólo los transportes por periodos prolongados, sino también las largas esperas de los animales en los corrales de reposo, tanto en los predios, ferias, como en rastros.



Figura 2. Embarque de búfalos de agua para traslado hacia el matadero o rastro. Los animales son conducidos desde el potrero (1) hacia un corral de contención (2), donde son empujados u orientados hacia una rampa que les permita embarcarlos (3). Una vez que ingresan al camión o tráiler (4), serán transportados con destino al matadero. Una vez en el corral de espera en el matadero, éstos deben esperar su turno para ser sacrificados (5).

Traumatismos y hematomas durante el transporte del búfalo

La transportación por sí misma, es un punto crítico para el bienestar de los animales, debido a la presencia de lesiones y traumatismos diversos. En el estudio de Chandra y Das (2001b), evaluaron las lesiones que presentaron los búfalos de agua durante traslados cortos en la India. A los traumatismos los consideraron como hematomas y los describieron como lesiones por impacto en los tejidos del cuerpo, con liberación de sangre, por la ruptura de los vasos sanguíneos a las áreas circundantes. La distribución de los hematomas en diferentes partes del cuerpo se observó cuando se descargaron los búfalos después del viaje.

Los autores usaron el sistema australiano de puntuación de hematomas en canales para categorizar la gravedad de las lesiones observadas en los búfalos antes de la matanza. Inmediatamente después de la descarga en el matadero, el evaluador examinó cuidadosamente al animal y realizó una valoración visual del tamaño y la gravedad de cada hematoma. Chandra y Das (2001b), reportaron en 100 búfalos, doscientos cuarenta y cuatro contusiones clasificadas en diferentes categorías. Los hematomas pequeños-profundos fueron los más comunes (59.0%), seguidos de los hematomas medianos (19.3%), pequeños (9.8%), medianos-profundos (6.1%) e intensos (5.7%). La mayoría de los hematomas se observaron en las extremidades traseras (43.4%) seguidos de la región del abdomen y la ubre (21.3%), en la región del hombro, cuello y dorso (16.0%) y la región perianal (11.1%).

La piel estaba dañada en el 10% de los traumatismos, mientras que los tejidos musculares estaban afectados en aproximadamente el 90% de las lesiones. Las lesiones no sólo comprometen el bienestar de los animales, sino que producen pérdidas económicas considerables a causa de los traumatismos, que requirieron el retiro del tejido dañado en la canal.

Se concluyó que la mayor parte de los traumatismos y lesiones se atribuyeron al manejo inadecuado de los animales durante la carga y descarga, a su caída, a sujetar a los animales en el camión, lo que impedía mantener el equilibrio corporal, y a la forma en que se conducía el camión, en particular el frenado y las curvas.

Conducta del búfalo durante el traslado al rastro

Cuando los animales han alcanzado su peso vivo para la finalización se envían al matadero (Mota-Rojas et al., 2010a,b). En el caso de los búfalos, reses y equinos; es común que una vez que ya no son productivos, se venden a los carniceros en mercados o tianguis de animales, quienes los conducen a un área de carga antes de transportarlos al matadero (Mota-Rojas et al., 2010a,b; Bertoni et al., 2019; Guerrero Legarreta et al., 2019b).

El transporte, en muchas de las ocasiones es un ambiente novedoso para los animales y al encontrarse en un piso que se mueve por los cambios de velocidad del chofer o en cubículos que generan ruidos extraños, es común ver que los animales se estresen y sobre todo por

no tener control del ambiente que representa el vehículo (Mota-Rojas et al., 2005, 2006, 2012). Ante ello, Chandra y Das (2001a) realizaron un estudio en las condiciones rutinarias de campo, para determinar la importancia de la orientación de los animales al estar de pie y su efecto en las respuestas comportamentales del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) frente a condiciones del transporte de corta distancia por carretera desde el mercado hasta el matadero. El estudio se realizó en un mercado de animales cerca de la Ciudad de Bareilly, India, donde los búfalos se utilizan principalmente para la producción de leche y actividades rurales agrícolas como tiro o carga.

En dicho estudio Chandra y Das, (2001a), analizaron diez recorridos de transporte en los que participaron un total de 100 búfalos. Los viajes se realizaron por carretera a una distancia de 20 km con una duración de 30 minutos y una velocidad promedio de 40 km/hora. El camión transportaba 10 animales por viaje con una densidad de carga de aproximadamente 0.6 m^2 /búfalo. Dos observadores, especialmente entrenados para registrar las actividades de los animales en un camión en movimiento, se pararon en la cubierta del camión y registraron el comportamiento de los animales.

Los signos clínicos presentados en los búfalos durante el viaje fueron congestión ocular, lagrimeo, secreción nasal, característicos de estrés y miedo. Algunos animales cambiaron su orientación de pie, de modo que fueran paralelos, perpendiculares o diagonales a la dirección en la que el camión se estaba moviendo. Indicadores como saltar, pérdida

de equilibrio, micción y defecación, también fueron observados. También se evaluó la pérdida de equilibrio, es decir si resbalaba o intentaba mantenerse de pie cuando el conductor frenaba, aceleraba o se inclinaba en las curvas. Se reportó que la orientación común fue paralela a la dirección del camión. Catorce búfalos cambiaron su orientación inicial de paralelo a perpendicular o diagonal. Se observó pérdida de equilibrio en 80 animales, de los cuales las curvas fueron responsables de la mayoría de las incidencias (51 %), seguidas de frenadas (44 %). Golpes y aceleración no tuvo ningún efecto significativo sobre el equilibrio de los animales. Además los autores encontraron congestión ocular en 52 búfalos, dentro de los 12 minutos del inicio del viaje, el cual continuó durante 15 minutos.

En 40 animales, la congestión ocular fue seguida de lagrimeo. Se observó secreción nasal en 13 búfalos y salivación en cuatro. La combinación de dos o más signos de estrés / angustia, es decir, congestión ocular y secreción nasal, congestión y salivación ocular y congestión ocular, secreción nasal y salivación, se observaron en 18, 12 y siete animales, respectivamente. Durante el viaje, la micción se presentó en 55 búfalos, de los cuales 20 animales orinaron dos veces y seis animales tres veces. Mientras que 21 búfalos defecaron. La alta frecuencia de micción y defecación puede indicar miedo en los animales que se mueven en el camión por liberación de adrenalina que en los órganos blanco favorece estos procesos de eliminación preparando a los animales para la lucha o huida (Chandra y Das, 2001a).

Reposo

Cualquiera que sea la espera, se debe procurar que las condiciones sean lo menos estresantes posibles y es indudable que mientras más se prolongue el tiempo en estas condiciones, más eventos adversos pueden presentarse durante las mismas. Dado que el músculo con elevado pH son es apto para el envasado al vacío por su rápido deterioro y estas canales son castigadas en el precio, a pesar de que sean sólo algunos músculos (cortes de carne) los afectados (Almonacid, 2003, Gallo y Tadich 2005).

De acuerdo a Pipek et al., (2003), la incidencia de la miopatía DFD (en el caso de esperas prolongadas) puede ser reducida si se aloja de forma individual a los toros. Por otro lado, si se alojan a los toros de mañana a noche en el matadero en cajones individuales antes del sacrificio, se reduce la incidencia del defecto DFD y se mejora la calidad de la carne en las variables pH₂₄ y reflectancia, en comparación con los animales alojados en corrales grupales. Aunado con ello, Pérez-Linares et al. (2008) observaron que tiempos de permanencia entre 12 y 18 horas en los corrales de descanso en la planta de sacrificio provocaron un ambiente de alto estrés en el animal. Similares hallazgos fueron reportados por Hargreaves et al. (2004), quienes mostraron que a medida que aumentó el período de estancia en corrales, la reprobación de esas canales por contar con pH no

idóneos (pH_f de 5.9) se incrementó significativamente ($p < 0,05$). Esto se puede atribuir a que si los animales permanecen más de un día en los corrales, pierden gran parte de sus reservas de glucógeno debido a los factores de estrés que se van sumando en momentos en que el animal debería estar descansando en el corral previo a ser sacrificado. Su potencial glucolítico muscular entonces se verá afectado disminuyendo hasta valores que afectan directamente la producción de ácido láctico *post-mortem*, lo que se traduce en un pH_f superior a 5.9 ó 6.0 (Hargreaves et al. 2004). Por lo tanto, se debe considerar que el tiempo de descanso sirve por tanto para minimizar los factores estresantes ocasionados por el transporte como para reponer las reservas de glucógeno (Prince et al., 1994), previniendo ciertas características indeseables en la carne, siempre y cuando se dé en condiciones de confort y evitando la mezcla de lotes de animales.

Tratando de identificar los factores de riesgo asociados al corte oscuro en canales de bovinos. Loredó-Osti et al (2019), realizaron un estudio en un matadero de Inspección Federal ubicado en el noreste de México. Una muestra aleatoria de 394 animales a los que se les evaluaron un total de 26 variables explicativas. El análisis incluyó factores ambientales, propios de los animales y de gestión, tanto en el período anterior como posterior al sacrificio. En sus hallazgos se encontró que sólo cuatro variables fueron estadísticamente significativas dentro del modelo de regresión logística final ($p < 0,001$). La frecuencia del corte oscuro en las canales fue del 13,45%. El tiempo de estabulación fue directamente proporcional al porcentaje de riesgo

de la carne de res de corte oscuro. La desensibilización inadecuada también aumentó la frecuencia de canales con este defecto; mientras que el espesor de la grasa dorsal y el diferencial de pH de 24 h de las canales fueron inversamente proporcionales al riesgo presentación de carne de res de corte oscuro. Cabe señalar que los investigadores encontraron que los factores de riesgo para la carne DFD están presentes en todas las etapas del proceso de matanza y, por lo tanto, para abordar este problema, ellos recomiendan realizar una valoración integral durante todo el proceso de sacrificio, con el fin de mitigar la presentación en estos factores de riesgo en la cadena cárnica.

Otras Causas

Factores intrínsecos

Para la presentación de corte oscuro, es importante valorar otros factores, debidos principalmente a los intrínsecos a la carne. En el caso de ovinos de diferentes razas alimentados con forraje, Ponnampalam et al. (2020), estudiaron la relación existente entre la concentración del ion hierro en las masas musculares de *Longissimus thoracis* y *Longissimus lumborum* tomadas entre la séptima/octava costilla hasta el extremo caudal del lado izquierdo de las canales. Se determinó el color de las muestras de carne fresca (80 g), 45 días de almacenamiento (80 g) o 90 días de almacenamiento (80 g). Sus resultados fueron que a 1 h de visualización simulada se presentó, aumentó el enrojecimiento de la carne, es decir el valor a^* ($P < 0.0001$)

en aproximadamente 3 unidades a medida que la concentración de hierro aumentó de 10 a 22 mg / kg de carne; mientras que el valor a^* disminuyó en 2 unidades a medida que el pH_f aumentó de 5.5 a 6.2 en la carne fresca ($P < 0.0001$). Después de 90 días de almacenamiento, se observó que hubo aproximadamente 2 unidades de incremento para la concentración de hierro y aproximadamente 1 unidad se disminuyó conforme decrecía el valor en el pH final (pH_f), respectivamente.

Los resultados muestran claramente que el aumento de la concentración de hierro muscular tuvo una elevada asociación con la reducción de corte oscuro en carne fresca y almacenada evaluada en condiciones simuladas de exhibición durante 1 h. Se concluye que medir la concentración de hierro, junto con el pH_f , puede ser una herramienta viable para evaluar el potencial de las canales para producir carne de corte oscuro.

Implantes promotores de crecimiento

Los implantes anabólicos que contiene hormonas naturales y/o sintéticas se aplican vía subcutánea en los bovinos destinados al abasto de carne para mejorar la ganancia de peso y conversión alimenticia. Sin embargo, también pueden ser un factor que determine la calidad de la carne. Para minimizar el efecto de los implantes promotores de crecimiento, sobre el pH_f , Littler (2001) indicó que el ganado antes de ser faenado, debe haber cumplido su período de

retiro del implante recomendado y contar con la nutrición de acuerdo a sus requerimientos. Sin embargo, este autor menciona que el uso de implantes por sí solo no explica la incidencia de corte oscuro. Por el contrario, si se usan de una forma inadecuada (ej. Synovex-H usado en novillos) o el abuso de estos productos (doble o triple dosis de implante), son los factores que aumentan en gran medida la incidencia de corte oscuro (Scanga et al. 1998, citado por Hargreaves et al. 2004). De la misma manera, Smith et al. (1999), concluyeron en un estudio realizado con vaquillas, que la incidencia de corte oscuro se ve afectada por las concentraciones del implante (0.83; 2.23 y 2.88% para tratamiento sin implante, con benzoato de estradiol y con acetato de trenbolona, respectivamente).

Por otro lado, en el estudio realizado por Hargreaves et al. (2004), se encontró que los animales implantados presentaron un porcentaje de canales con pH_f de 5.9 (lo que las hace no aptas), significativamente menor que las procedentes de animales no implantados ($p < 0.05$). Sus hallazgos no coinciden con lo señalado por Janloo et al. (1998), quienes indicaron que las canales de animales implantados tienden a presentar una mayor incidencia de corte oscuro, debido a que el implante aumenta la síntesis proteica, lo que significa un mayor gasto energético y una consecuente disminución de la reserva de glucógeno muscular.

Cabe destacar además que un factor que no se considera es el estrés por manejo que experimentan los animales al colocarles los implantes

hormonales, ya que los animales implantados podrían tener un mayor contacto con humanos (manejo de implantación) en comparación con los no implantados criados en pradera, por lo que al momento de abandonar el predio con destino a la planta faenadora o rastro, los últimos pueden presentar mayor estrés.

Además, es importante mencionar que los animales criados en pradera pueden llegar al momento de la faena con un bajo potencial glucolítico, producto de la baja calidad energética de los pastos en las últimas semanas de alimentación (Hargreaves et al., 2004).

Finalmente, se ha determinado que la presentación de corte oscuro es multifactorial, tal como lo demostraron Mahmood et al. (2019), quienes trataron de identificar si la frecuencia de carne de corte oscuro se debe a los efectos individuales o interactivos del sexo del ganado, los promotores del crecimiento, el sistema de producción (terneros frente a los alimentados por un año), la temporada de sacrificio y el manejo previo al matadero. Ellos intentaron probar que existen interacciones entre el sistema de producción, el uso de promotor del crecimiento, sexo del ganado y tiempo de estabulación para la incidencia del corte oscuro en la carne.

En sus hallazgos llegaron a la conclusión de que, si bien los promotores del crecimiento no influyen en la incidencia del corte oscuro, confirmaron un efecto del sexo del ganado sobre la presentación de corte oscuro donde las novillas, especialmente las alimentadas, estaban más predispuestas a presentar el corte oscuro en

comparación con los novillos, independientemente del sistema de producción y la crianza mediada por el uso de implante hormonal.

Por otro lado, las estaciones del año caracterizadas por temperaturas altas y fluctuantes aumentaron aún más la frecuencia de presentación de cortes oscuros en las novillas. Aunado con ello, el crecimiento lento y la reducción del peso de la canal parecen aumentar la probabilidad de corte oscuro. Y recomiendan hacer más estudios que asocien el sistema de crianza con la presentación del corte oscuro.

Cajón de aturdimiento

La última etapa, previo a la muerte del animal es la espera en el cajón o manga de aturdimiento y está directamente asociada a la calidad de la carne.

Tiempos de espera para entrar al cajón de noqueo mayores de 1.5 minutos, potencian mayor estrés en el animal a causa de escuchar ruidos y percibir el olor a sangre de otros animales lo que resulta en mayor asociación con carne DFD (Pérez-Linares et al., 2008). Un intervalo largo entre el aturdimiento y la exanguinación, puede acelerar el metabolismo y el ácido láctico puede ser removido con la sangre y en este caso la acidificación de la carne es insuficiente. Colgar a los animales antes de la exanguinación puede acelerar la utilización del glucógeno (Pipek et al., 2003).

Colgado y calidad de la canal

Como parte del faenado, se debe asegurar que los animales están aturdidos para ser colgados en las líneas de proceso. El modo de colgado inmediatamente después de la exanguinación puede causar una disminución diferente en el pH en el lado izquierdo del vacuno contrario a lo que sucede en la parte derecha.

El colgado de la canal en una pierna inmediatamente después del sacrificio puede conducir una importante disminución de glucógeno y, por tanto, una conversión anormal a ácido láctico y diferentes valores de pH (Pipek et al., 2003).

Finalmente, el modo de colgar las canales tras el aturdimiento (a través del tendón de Aquiles y suspensión de la pelvis) también fue estudiado por Fischer et al. (2000), citado por Pipek et al. (2003), quienes consideraron que la suspensión pélvica en los cerdos reduce las pérdidas de peso.

Por otro lado y sin lugar a dudas la genética, el género y la raza son elementos que influyen en la calidad de la canal.

A continuación se presentan algunos elementos importantes a considerar en la composición de la canal entre ganado bovino Brahman (*Bos indicus*) y búfalo de agua (*Bubalus bubalis*), estudios que fueron conducidos en Filipinas por Lapitan et al. (2008).

En la figura 3 se aprecian algunas variables interesantes a la matanza y faenado.

El objetivo de este estudio fue comparar la calidad de la canal y la carne en bovinos Brahman y búfalos de agua híbridos, a la misma edad y alimentados con alto contenido de fibra en Filipinas. Se utilizaron diez bovinos y diez búfalos de agua, con una edad promedio de 22 meses (18-24 meses).

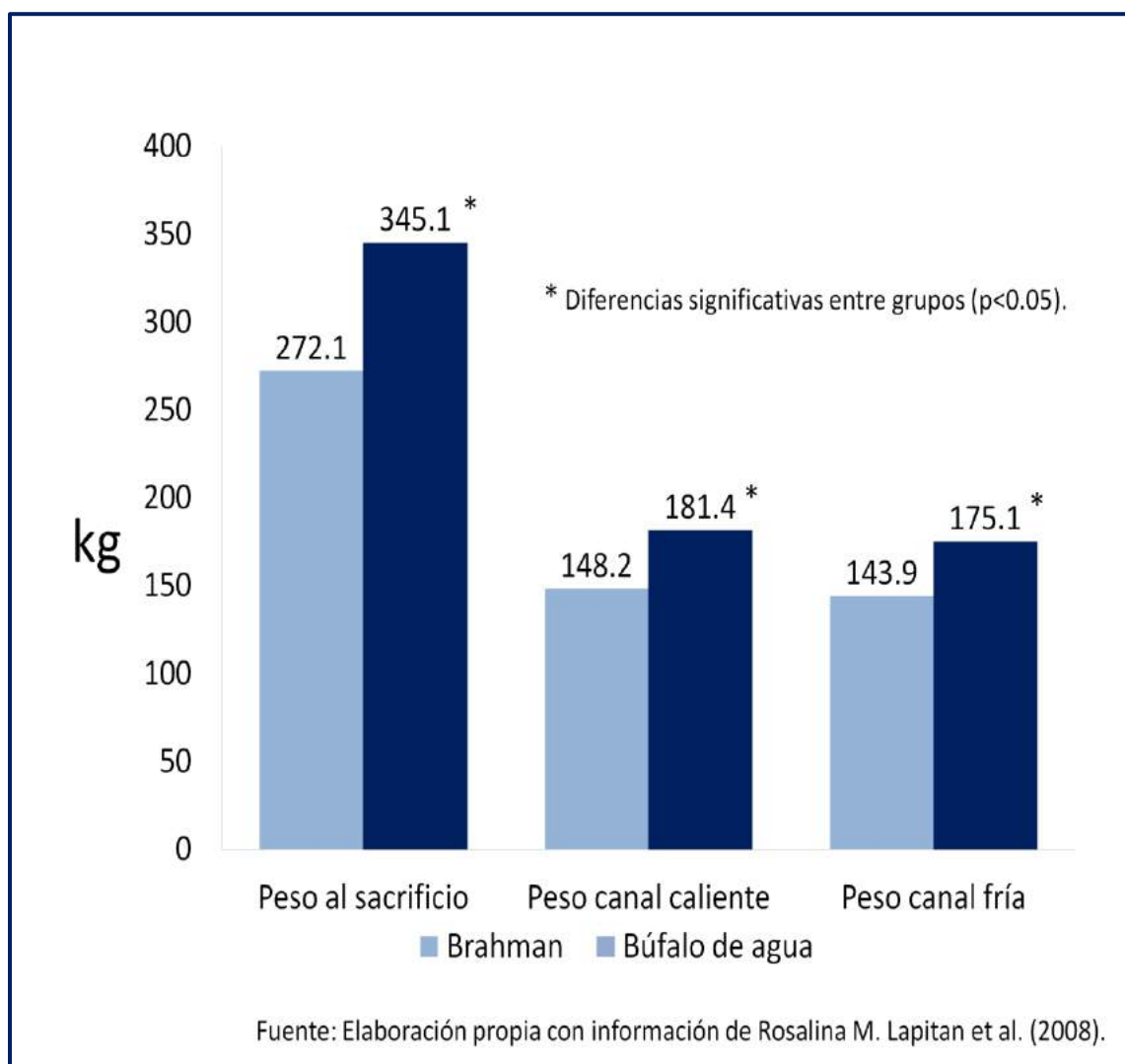


Figura 3. Composición de la canal caliente y fría, una comparación entre búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) y ganado bovino Brahman (*Bos indicus*)

Los animales fueron alimentados con una dieta similar durante 180 días antes del sacrificio. El peso al sacrificio del búfalo de agua híbrido

fue mayor ($P < 0.05$) que los bovinos Brahman (**Figura 3**), aunque el porcentaje de rendimiento de la canal tanto caliente como fría fue significativamente ($P < 0.01$) mayor para los bovinos que para los búfalos (**Figura 4**). Otro aspecto interesante que se desprende de ésta investigación es que el diámetro de la fibra muscular del lomo en la carne de búfalo fue menor ($P < 0.05$) que en el bovino Brahman.

En cuanto a la calidad de la canal y la carne, el búfalo de agua híbrido fue comparable o ligeramente superior al ganado Brahman (híbrido) en terneza, puntuación sensorial de color ($P < 0.01$) y sabor ($P < 0.05$). Respecto al ojo de la chuleta los valores en pulgadas fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$) (7.07 Vs. 6.17) para el ganado Brahman y búfalo de agua, respectivamente. Los resultados del estudio de Lapitan et al. (2008), demuestran que a una edad más joven e incluso con dietas de engorde altas a base de fibra, los búfalos de agua pueden producir carne de buena calidad, que no es de ninguna manera inferior a la del ganado bovino Brahman de Filipinas.

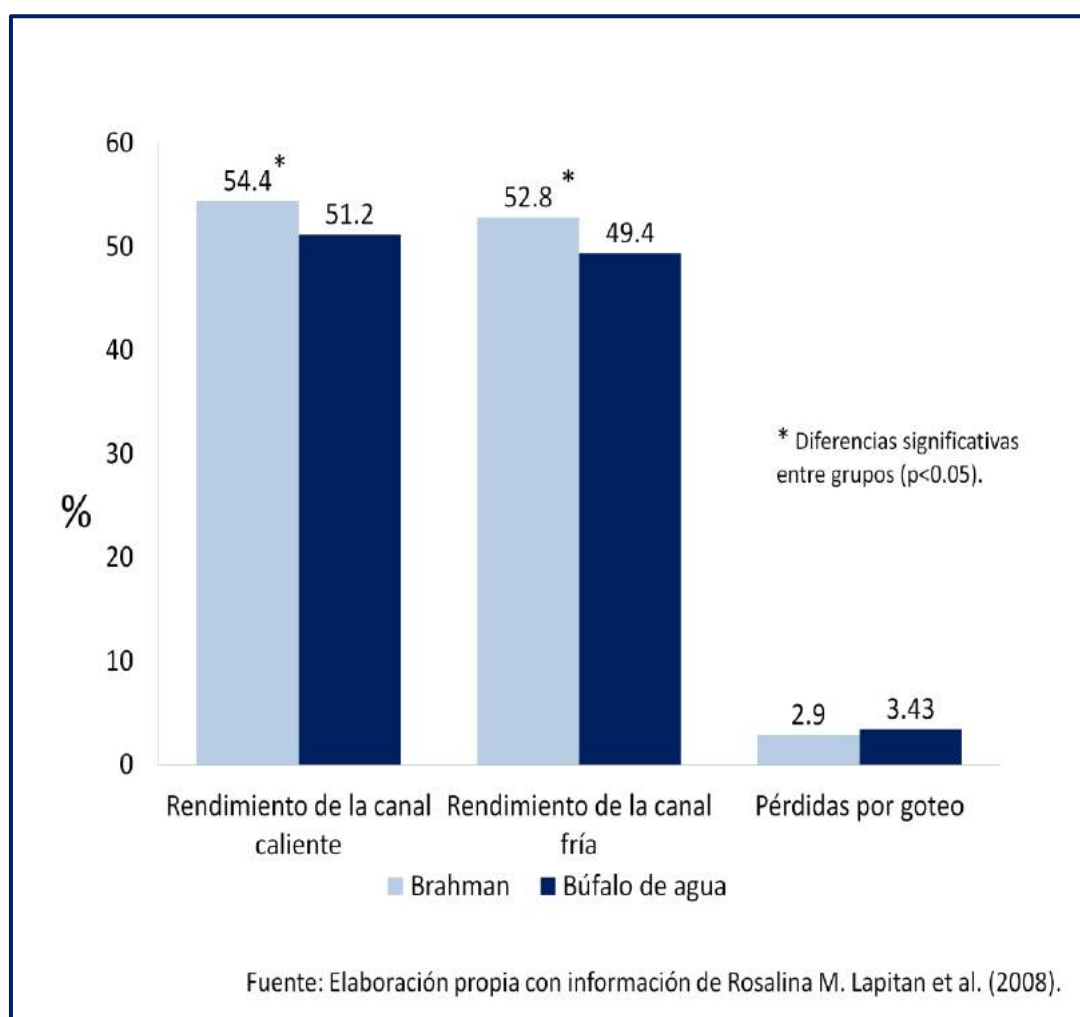


Figura 4. Parámetros de la calidad de la canal caliente y fría en búfalos de agua y ganado bovino Brahman.

Pero no siempre la alimentación tiene una influencia directa en la calidad de la carne del búfalo. En un estudio realizado por Masucci et al. (2016), se evaluaron los efectos de diferentes niveles dietéticos de ensilaje de maíz (10% frente a 36% MS) y tamaño del grupo (7 frente a 14 animales) sobre el rendimiento del crecimiento y la digestibilidad *in vivo* de 28 búfalos de engorde machos de raza mediterránea. Además, evaluaron por separado los efectos de la dieta sobre la calidad de la carne y el tamaño del grupo sobre el comportamiento y la respuesta

inmune. Los búfalos se pesaron y se asignaron a tres grupos. Los resultados demostraron que el ritmo de crecimiento, las características de la canal y la digestibilidad no se vieron influenciados ni por la dieta, ni por el tamaño del grupo, incluso si el grupo alimentado con una dieta de ensilado de maíz al 36% mostró una mayor digestibilidad de la fibra.

CONSIDERACIONES FINALES

Como se puede apreciar, cualquier aspecto *ante-mortem* tiene repercusiones en la calidad de la carne. Por lo que se deben determinar y prevenir las condiciones que son puntos críticos para la calidad del producto, tales como el ayuno, transporte y ambiente en el búfalo y el bovino tradicional del género *Bos*.

El principal defecto que se presenta en la carne asociado al estrés *ante-mortem* es el corte oscuro, que se relaciona directamente con una disminución de la concentración de glucógeno muscular y hepático, por lo cual, el riesgo de problemas de calidad aumentan si los animales están mucho tiempo privados de alimento o si son manejados de manera errónea durante el periodo *ante-mortem*.

Una recomendación para mejorar la calidad de la carne es la reducción de los periodos de estrés, para evitar que los búfalos y bovinos del género *Bos*, usen sus reservas energéticas favoreciendo que el pH de la carne no descienda lo suficiente propiciando la posibilidad de mayor

crecimiento bacteriano; por lo tanto, implementar buenas prácticas de manejo de animales es fundamental para asegurar su bienestar, disminuir o evitar su sufrimiento preferentemente en todas las etapas previas al sacrificio, lo cual contribuirá no solo a incrementar el nivel de bienestar *ante-mortem*, sino además con ello se pueden evitar cuantiosas pérdidas económicas por defectos de corte oscuro en la canal.

REFERENCIAS

- Alarcón-Rojo, A.D., Duarte-Atondo, J.O., 2006. Capítulo 9. Ciencia y tecnología de carnes. Hui, Y. H., Guerrero Legarreta, L. I., Rosmini, R. M. Ciencia y tecnología de carnes. México: Limusa.
- Alarcón-Rojo, A.D., Janacua-Vidales, H., 2010. Capítulo 18. Alteraciones de las reacciones enzimáticas *post-mortem* en carnes PSE y DFD. En: Bienestar animal y calidad de la carne. Primera edición. (Eds). Mota-Rojas, Guerrero Legarreta, y Trujillo. BM Editores. México. p. 287-299.
- Alarcón-Rojo, A., Mota-Rojas, D., García-Galicia, I., Cruz-Monterrosa, R., Ramírez-Bribiesca, E., Olmos-Hernández, A., Guerrero Legarreta, I., 2020. Dark cutting in river buffalo: Effect of management and environmental factors. Agrop. 13, 93-98. <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1927>
- Andrighetto-Canozzi, M.E., Ávila Sphor, L., McManus Pimentel, C.M., Jardim Barcellos, J.O., Candal Poli, C.H.E., Bergmann, G.P., 2016.

- Sensory evaluation of beef and buffalo extensively reared and its relationship to sociodemographic characteristics of consumers. *Semin. Cienc. Agr.* 7, 1617-28. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n3p1617>
- Apple, J. K., Kegley, E. B., Galloway, D. L., Wistuba, T. J., Rakes, L.K., 2005. Duration of restraint and isolation stress a model to study the dark-cutting condition in cattle. *J. Anim. Sci.* 83, 1202-1214.
- Becerril-Herrera M, Alonso-Spilsbury M, Trujillo-Ortega ME, et al. 2010. Changes in blood constituents of pigs transported for 8 or 16 h to an Abattoir. *Meat Sci.* 86, 945–948.
- Bertoni, A., Álvarez-Macias, A., Mota-Rojas, D., 2019. Productive performance of buffaloes and their development options in tropical regions. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 19, 59-80.
- Bosques, J., Pagán-Morales, M., Casas, A., Rivera, A., Cianzio, D., 2015. Segregation of polymorphisms in μ -calpain and calpastatin in beef cattle in Puerto Rico. *J. Agr. U. Puerto Rico.* 99, 105-116.
- Calkins, C. R., Hodgen, J. M., 2007. A fresh look at meat flavor. *Meat Sci.* 77, 63–80.
- Chandra, B.S., Das, N., 2001a. Behaviour of Indian river buffaloes (*Bubalus bubalis*) during short-haul road transportation. *Vet. Rec.* 148, 314-315.
- Chandra, B.S., Das, N., 2001b. The handling and short-haul road transportation of spent buffaloes in relation to bruising and animal welfare. *Trop. Anim. Health Prod.* 33, 155-163.
- Cruz-Monterrosa, R.G., Mota-Rojas, D., Ramírez-Bribiesca, E., Mora-

- Medina P., Guerrero Legarreta I., 2020. Scientific findings on the quality of river buffalo meat and it's prospects for future studies. *J. Buffalo Sci.* 9, 170-180. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.18>
- De Franciscis, G. and Moran, J.B., 1992. Meat production from river buffaloes. En: N.M. Tulloh and J.H.G. Holmes (Eds.). *Buffalo Production* (World Animal Science, C6.). Elsevier. Amsterdam. 413-419.
- Ferguson, D. M., Warner, R. D., 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants. *Meat Sci.* 80, 12–19.
- Ferreira, G. B., Andrade, C. L., Costa, F., Freitas, M. Q., Silva, T. J. P., Santos, I. F. 2006. Effects of transport time and rest period on the quality of electrically stimulated male cattle carcasses. *Meat Sci.* 74, 459–466.
- Gallo, C., Tadich, N. 2005. Transporte terrestre de bovinos: Efectos sobre el bienestar animal y la calidad de la carne. *Agro-Ciencia.* 21(2), 37-49.
- Grandin, T. 1997. Assessment of stress during handling and transport. *J. Anim. Sci.* 75, 249–257.
- Guardia, M. D., Estany, J., Balasch, S., Oliver, M. A., Gispert, M., Diestre, A., 2005. Risk assessment of DFD meat due to pre-slaughter conditions in pigs. *Meat Sci.* 70, 709-716.

- Guerrero Legarreta, I., Ponce, E., Pérez, M.I., 2002. Curso Práctico de Tecnología de Carnes y Pescado. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. México D.F.
- Guerrero Legarreta, I., Totosa, A., 2006. Propiedades funcionales de la carne. En: Ciencia y Tecnología de Carnes. Y. Hui, I. Guerrero Legarreta, M. Rosmini (Eds.). Editorial Limusa. México D.F. p. 235.
- Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R., Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J., 2019a. The river Buffalo: versatile, rustic and sustainable as a meat producer (In spanish). Agro Meat. Buenos Aires, Argentina. 2019. Febrero: 1-10.
- Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. 2019b. El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales. Segunda edición. México, Editorial BM Editores. Enero, 2019. Ciudad de México. p.p. 1-881. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>
- Guerrero Legarreta, I., Rosmini, R., Mota-Rojas, D., Fernández-López, J., Cruz-Monterrosa, R., Pérez-Álvarez, J.A., 2019c. Capítulo 22. Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua. En: Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., & Orihuela, A. (Ed.), El búfalo de agua en las Américas. México. BM Editores.
- Guerrero Legarreta, I., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Bertoni, A.,

Álvarez-Macías, A., 2019d. Capítulo 6. El búfalo de agua productor de carne por el mundo: indicadores productivos y sanitarios. En Guerrero Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (192-224), Segunda edición. México, BM Editores. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Guerrero Legarreta, I., Strappini, A., Mota-Rojas, D., García, I., Ramírez, B.E., Ghezzi, D.M, Cruz-Monterrosa, R., Lázaro de la Torre, C. Mora-Medina, P., Olmos, A.; Lemus, F.C., Gutiérrez, Q., Olvera, L., Flores, P.S., Alarcón-Rojo, A., 2019e. Capítulo 21. Manejo previo a la muerte y calidad de la carne del búfalo. En: Guerrero Legarreta, I.; Napolitano, F.; Mota-Rojas, D.; Orihuela, A. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 714-758), Segunda edición. México, BM Editores. México. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Cruz-Monterrosa, R., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Ramírez-Bribiesca, E., Bertoni, A., Berdugo-Gutiérrez, J., & Braghieri, A., 2020. River buffalo meat production and quality: sustainability, productivity, nutritional and sensory properties. J. Buffalo Sci. 9, 159-169. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.17>

- Hargreaves, A., Barrales, L., Peña, I., Larraín, R., Zamorano, L., 2004. Factores que Influyen en el pH Ultimo e Incidencia de Corte Oscuro en Canales de Bovinos. Cien. Invest. Agraria. 31(3), 155-166.
- Hoogesteijn, R., Hoogesteijn, A., 2008. Conflicts between cattle ranching and large predators in Venezuela: could use of water buffalo facilitate felid conservation? Oryx 42(1), 132–138. doi:10.1017/S0030605308001105
- Irurueta, M., Cadoppi, A., Langman, L., Grigioni, G., Carduza, F., 2008. Effect of aging on the characteristics of meat from water buffalo grown in the Delta del Paraná region of Argentina. Meat Sci. 79, 529–533.
- Jeleníková, J., Pipek, P., Staruch, L., 2008. The influence of *ante-mortem* treatment on relationship between pH and tenderness of beef. Meat Sci. 80:870–874.
- Kadim, I. T., Mahgoub, O., Al-Ajmi, D. S., Al-Maqbaly, R. S., Al-Mugheiry, S. M., Bartolomé, D. Y., 2004. The influence of season on quality characteristics of Hot-bonet beef *m. longissimus thoracicus*. Meat Sci. 66, 831-836.
- Kanatt, S.R., Chawla, S.P., Sharma, A., 2015. Effect of radiation processing on meat tenderisation. Radiat. Phy. Chemis. 111, 1-8.
- King, D. A., Schuehle, P. C. E., Randel, R. D., Welsh Jr., T. H., Oliphint, R. A., Baird, B. E., Curley Jr. K. O., Vann, R. C., Hale, D. S., Savell, J.W., 2006. Influence of animal temperament and stress

- responsiveness on the carcass quality and beef tenderness of feedlot cattle. *Meat Sci.* 74, 546-556.
- Lawrie, R.T., 1977. Ciencia de la carne. *Acribia*. Zaragoza, España. Pp. 156 -161.
- Loredo-Osti, J., Sánchez-López, E., Barreras-Serrano, A., Figueroa-Saavedra, F., Pérez-Linares, C., Ruiz-Albarrán, M., Domínguez-Muñoz, M. Á., 2019. An evaluation of environmental, intrinsic and pre-and post-slaughter risk factors associated to dark-cutting beef in a federal inspected type slaughter plant. *Meat Sci.* 150, 85-92.
- Macedo, M.C.M., 1999. Degradacxao de pastagens: conceitos e metodos de recuperacxao. In *Simposio sustentabilidade da pecuaria de leite no Brasil*, pp. 137–150. Embrapa Gado de Leite, Goiania, Brazil.
- Mach, N., Bach, A., Velarde, A., Devant, M., 2008. Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. *Meat Sci.* 78, 232–238.
- Mahmood, S., Dixon, W.T., Bruce, H. L., 2019. Cattle production practices and the incidence of dark cutting beef. *Meat Sci.* 157, 107873.
- Masucci, F., De Rosa, G., Barone, C.M.A., Napolitano, F. 2016. Effect of group size and maize silage dietary levels on behaviour, health, carcass and meat quality of Mediterranean buffaloes. *Animal.* 10, 531-538. <https://doi.org/10.1017/S1751731115002359>

- Moran, J.B., 1992. Growth and development of buffaloes. En: N.M. Tulloh and J.H.G. Holmes (Eds.). Buffalo Production (World Animal Science, C6.). Elsevier. Amsterdam. 191-221.
- Mota-Rojas, D., Becerril-Herrera, M., Gay, J. F. R., Lemus, F. C., Alonso, S. M. L., Ramírez, N.R., 2005. Calidad de la carne, salud pública e inocuidad alimentaria. México: Universidad Autónoma Metropolitana Serie Académicos CBS No. 52. 353 pp.
- Mota-Rojas D, Becerril M, Lemus C, et al. 2006. Effects of mid-summer transport duration on pre- and post-slaughter performance and pork quality in Mexico. Meat Sci. 73, 404–412.
- Mota-Rojas D, Becerril Herrera M, Trujillo-Ortega ME, et al., 2009. Effects of pre-slaughter transport, lairage and sex on pig chemical serologic profiles. J. Anim. Vet. Adv. 8, 246–250.
- Mota-Rojas, D., Guerrero Legarreta, I., Trujillo, O.M.E., 2010a. Bienestar animal y calidad de la carne. Editorial BM Editores. México. p.361.
- Mota-Rojas, D., Alarcón-Rojo, A.D., Vázquez GG., Guerrero Legarreta, I., 2010b. Músculo oscuro firme y seco en bovinos, mecanismos involucrados. En: Bienestar animal y calidad de la carne. BM Editores. México. p. 271-286.
- Mota-Rojas D, Becerril-Herrera M, Alonso-Spilsbury M, et al., 2012. Effects of long distance transport and CO2 stunning on critical blood values in pigs. Meat Sci. 90, 893–898.
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., 2019. Invited review: Dairy buffalo

- behaviour and welfare from calving to milking. CAB Rev. 14, 1-12. <http://dx.doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>
- Mounier, L., Dubroeuq, H., Andanson, S., Veissier, I., 2006. Variations in meat pH of beef bulls in relation to conditions of transfer to slaughter and previous history of the animals. J. Anim. Sci. 84, 1567–1576.
- Muchenje, V., Dzama, K., Chimonyo, M., Strydom, P. E., Raats, J.G., 2009. Relationship between pre-slaughter stress responsiveness and beef quality in three cattle breeds. Meat Sci. 81, 653–657.
- Naveena, B.M., Mendiratta, S.K., Anjaneyulu, A.S.R., 2004. Tenderization of buffalo meat using plant proteases from *Cucumis trigonus* Roxb and *Zingiber officinale* roscoe. Meat Sci. 68, 363-369.
- Naveena, B.M., Kiran, M., Reddy, K.S., Ramakrishna, C., Vaithiyanathan, S., Devatkal, S.K., 2011a. Effect of ammonium hydroxide on ultrastructure and tenderness of buffalo meat. Meat Sci. 88, 727-732.
- Naveena, B.M., Sen, A.R., Muthukumar, M., Babji, Y., Kondaiah, N., 2011b. Effects of salt and ammonium hydroxide on the quality of ground buffalo meat. Meat Sci. 87, 315-320.
- Neath, K.E., Del Barrio, A.N., Lapitan, R.M., Herrera, J.R., Fujihara, T., Muroya, S., Chikuni, K., Hirabayashi, M., Kanai, Y., 2007a. Protease activity higher in postmortem water buffalo meat than Brahman beef. Meat Sci. 77, 389-96.

- Neath, K. E., Del Barrio, A. N., Lapitan, R. M., Herrera, J. R. V., Fujihara, T., . Muroya, S., Chikuni, K., Hirabayashy, M., Kanai, Y., 2007b. Difference in tenderness and pH decline between water buffalo meat and beef during postmortem aging. *Meat Sci.* 75, 499-505.
- Önenç, A., 2004. Dark Cutting Incidence in Holstein Friesian, Brown Swiss and Eastern Anatolian Red Cattle Slaughtered Under Turkish Commercial Slaughter Conditions. *Pakistan J. Biol. Sci.* 7(1), 96-99.
- Partida, J. A., Olleta, J. L., Campo, M. M., Sañudo , C., María, G.A., 2007. Effect of social dominance on the meat quality of young Friesian bulls. *Meat Sci.* 76, 266–273.
- Peixoto, M.S., Lourenco, J., Faturi, C., Garcia, A.R., Nahum, B., Lourenco, L.H., Meller, H., Oliveira, K.C., 2012. Carcass quality of buffalo (*Bubalus bubalis*) finished in silvopastoral system in the Eastern Amazon, Brazil. *Arquiv. Bras. Med. Vet. Zoot.* 64, 1045-1052.
- Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., Barreras-Serrano, A. 2006. Relationship between management factors and the occurrence of DFD meat in cattle. *J. Anim. Vet. Adv.* 5(7), 578-581.
- Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., Barreras-Serrano, A., 2008. Factores de manejo asociados a carne DFD en bovinos en clima desértico. *Arch. Zootec.* 57(220), 545-547.
- Pipek, P., Haberl, A., Jeleníková, J., 2003. Influence of slaughterhouse handling on the quality of beef carcasses. *Czech J. Anim. Sci.* 48(9), 371–378.

- Ponnampalam, E. N., Jacobs, J. L., Knight, M. I., Plozza, T. E., Butler, K. L., 2020. Understanding the action of muscle iron concentration on dark cutting: An important aspect affecting consumer confidence of purchasing meat. *Meat Sci.* 108156.
- Prädl, O., Fischer, A., Schmidhofer, T., Sinell, H., 1994. Tecnología e higiene de la carne. *Acribia*. Zaragoza, España. Pp. 19-34.
- Prince, J. F., Schweigert, B. S., 1994. Ciencia de la carne y de los productos cárnicos. *Acribia*, España. Pp. 139-166.
- Robertson, J., Bouton, P.E., Harris, P.V., Shorthose, W.R., Ratcliff, D., 1983. A comparison of some properties of beef and buffalo (*Bubalus bubalis*) meat. *J. Food Sci.* 48, 686-690. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb14876.x>
- Sharma, N., Gandemer, G., Goutefongea, R., Kowale, B.N., 1986. Fatty acid composition of water buffalo meat. *Meat Sci.* 16, 237-243. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(86\)90029-X](https://doi.org/10.1016/0309-1740(86)90029-X)
- Schaefer, A. L., Dubeski, P. L., Aalhus, J. L., Tong, A. K. W., 2001. Role of nutrition in reducing antemortem stress and meat quality aberrations. *J. Anim. Sci.* 79:E91-E101.
- Sheik, P.A., 2002. The impact of water buffalo and cattle ranching on the lower Amazon floodplain: an ecological and socio-economic comparison. PhD thesis, Pennsylvania State University, State College, USA.
- Schilling, M.W., Suman, S.P., Zhang, X., Nair, M.N., Desai, M.A., Cai, K., Ciaramella, M.A., Allen, P.J., 2017. Proteomic approach to

- characterize biochemistry of meat quality defects. Meat. Sci. 132, 131-138.
- Silva, J. A., Patarata, L., Martins, C., 1999. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. Meat Sci. 52, 453-459
- Southern, K. J., Rasekh, J. G., Hemphill, F. E., Thaler, A. M., 2006. Conditions of transfer and quality of food. Rev. sci. tech. Off. int. Epiz. 25(2), 675-684.
- Vartnam, A. H., Sutherland, J. P. 1998. Introducción. *Carne y productos cárnicos: tecnología, química y microbiología*. Acribia. Zaragoza, España. Pp. 1-40.
- Warris, P. D. 2000. Chapter 7: The effects of live animal handling of carcass and meat quality. Meat Science an introductory text. *CABI Publishing*. London, UK. Pp: 131-155.
- Wulf, D. M., Emnett, R. S., Leheska, J. M., Moeller, S.J., 2002. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. J. Anim. Sci. 80, 1895-1903.
- Ylâ-Ajos, M., Puolanne, E., 2007. Temperature shows greater impact on bovine Longissimus dorsi muscle glycogen debranching enzyme activity than does salt concentration. Meat Sci. 77, 587–592.
- Zava, M., 2011. Manejo y Bienestar Animal El búfalo doméstico. Editorial Orientación Gráfica y Editora, Buenos Aires, Argentina.





SECCIÓN V



Saint Lawrence. 100 x150 cm, oil on canvas, 2018.

By Alex Cuibus

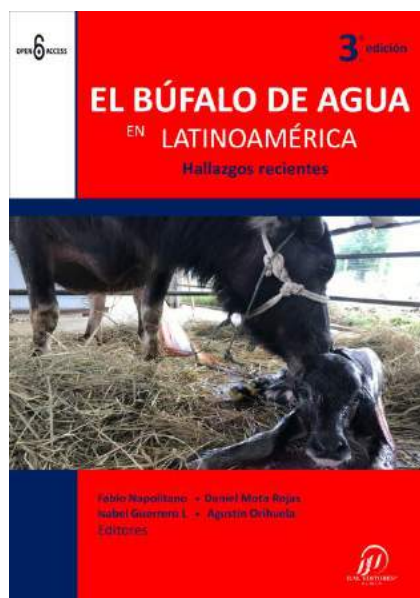
CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS



CAPÍTULO 28

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES DE LA CARNE DE BÚFALO DE AGUA

Isabel Guerrero Legarreta, Basappa M. Naveena, Daniel Mota-Rojas, Marcelo R. Rosmini, Fabio Napolitano, Rosy G. Cruz Monterrosa, Patricia Mora-Medina, Juana Fernández-López, Adolfo A. Rayas Amor, Efrén Ramírez-Bribiesca y José Ángel Pérez-Álvarez



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 28

Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua

Isabel Guerrero Legarreta¹, Basappa M. Naveena², Daniel Mota-Rojas³, Marcelo R. Rosmini⁴, Fabio Napolitano⁵, Rosy G. Cruz Monterrosa⁶, Patricia Mora-Medina⁷, Juana Fernández-López⁸, Adolfo A. Rayas Amor⁶, Efrén Ramírez-Bribiesca⁹ y José Ángel Pérez-Álvarez⁸

¹Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-I. Ciudad de México. México.

²ICAR-National Research Centre on Meat, Chengicherla, Hyderabad, Telangana, India.

³Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.

⁴Departamento de Salud Pública Veterinaria. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Litoral, Esperanza, Provincia de Santa Fe. Argentina.

⁵Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

⁶Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-L. Lerma. México.

⁷Departamento de Ciencias Pecuarias. Universidad Nacional Autónoma de México. FESC. México.

⁸Departamento de Tecnología Agroalimentaria, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH), España.

⁹Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.

INTRODUCCIÓN

Los alimentos destinados al consumo humano deben poseer una serie de características, entre las que destacan: las propiedades nutrimentales, comerciales, éticas y, desde hace algunos años, con las repercusiones del cambio climático se han incorporado aquellas que sean amigables con el ambiente (Naveena y Kiran, 2014).

En cuanto a las características nutrimentales, la carne fresca y procesada, se consideran como uno de los alimentos más completos, que cuenta con valor biológico elevado, debido a la calidad de las



proteínas, ya que proporcionan aminoácidos esenciales que no puede sintetizar el organismo, a esto se añade la disponibilidad de diversos micronutrientes (De Smet y Vossen, 2016). Además, la estructura de las biomoléculas y su combinación en diversas proporciones, dentro de las masas musculares contenidas en la carne son las responsables de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, por las cuales los consumidores toman su decisión a la hora de la compra. En este sentido, la carne de res proveniente del *Bos taurus*, se considera una carne de excelente calidad; sin embargo, una especie denominada emergente, como lo es el Búfalo de agua (*Bubalus bubalis*), está empezando a participar en el mercado cárnico internacional por las bondades que se le atribuyen asociadas con la salud humana.

Considerando la similitud entre la carne fresca y los productos cárnicos de búfalo de agua y de res, se observa que varios atributos de calidad son similares, de ahí que se incremente la aceptación de los productos bufalinos; sin embargo, es necesario determinar si es factible que se desarrolle el sector de la carne de búfalo haciéndolo tan competitivo como el sector cárnico de res (Naveena y Kiran, 2014; Cruz-Monterrosa et al., 2020; Guerrero Legarreta et al., 2019a,b,c,d,e; Guerrero Legarreta et al., 2020; Alarcón-Rojo y Janacua, 2010; Alarcón-Rojo et al., 2020).

Por ello, el objetivo de este capítulo es describir qué son las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la carne, en general y

contrastarlas entre las carnes procedentes de res y de búfalo, haciendo énfasis en las propiedades funcionales de la carne de búfalo, lo que le permitirían ser un producto fresco competitivo y más versátil durante el procesamiento de derivados de alto valor agregado, con los beneficios que le son atribuidos para la salud humana.

COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DEL MÚSCULO ESTRIADO

La carne de búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) es cada vez más aceptada en todo el mundo para consumo humano directo o como materia prima, debido a sus propiedades inherentes, en muchos casos superiores a la carne de res, con respecto a ciertos atributos como poca grasa intermuscular, pocas calorías y bajo nivel de colesterol, además de un mejor valor biológico y contenido de hierro (Anjaneyulu et al., 1990; Guerrero Legarreta y Totosa, 2006; Guerrero Legarreta et al., 2019a; Guerrero Legarreta et al., 2019b).

Las características fisicoquímicas de la carne y los sistemas cárnicos están fundamentadas en su composición química, similar entre las diversas especies de animales de abasto (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición química básica de carne de las principales especies de abasto (g/100 g)

Producto	Agua	Proteínas	Grasas	Cenizas
Vacuno (Bos) (magra) ¹	75.0	22.3	1.8	1.2
Vacuno (Bos) ¹	54.7	16.5	28.0	0.8
Cerdo (magra) ¹	75.1	22.8	1.2	1.0
Cerdo ¹	41.1	11.2	47.0	0.6
Ternera (magra) ¹	76.4	21.3	0.8	1.2
Pollo ¹	75.0	22.8	0.9	1.2
Búfalo de agua (raza Murrah) ²	74.2	23.4	1.1	0.7

¹ Cedrés et al. (2002); ² Nascimento y Moura Carvalho (1993).

Comparativamente con la carne de res, la carne de búfalo contiene menor cantidad de colesterol (56.9 y 106.6 mg/100g, respectivamente) y triglicéridos (1.38 y 1.77 g/100 g, respectivamente). La carne de búfalo es una buena fuente de ácido linoleico conjugado (CLA) (1.83%), mayor que en res (1.47%). (Ziauddine et al., 1994; Sompratana, 2008; Rakiat, 2008). CLA no puede ser sintetizado por el organismo humano, por lo que debe ser consumido en los alimentos. Se metaboliza a otros ácidos grasos poliinsaturados, como EPA (ácido eicosapentaenoico) y DHA (ácido docosahexanoico), los que participan en funciones como mantener las membranas de todas las células, para producir las prostaglandinas que

regulan varios procesos corporales, como la inflamación y la coagulación de la sangre (Aguilar-Guggembhul, 2015).

Los músculos estriados son capaces de producir energía química para convertirla en movimiento mecánico y de trabajo. Estos están formados por fibras musculares, las cuales están rodeadas por una membrana llamada sarcolema, formada de tejido conectivo (Cheftel et al., 1989). Cada músculo está rodeado de una capa gruesa de tejido conectivo que penetra al músculo y recibe el nombre de epimisio, de este parten elementos de tejido conectivo que dividen al músculo en grupos de fibras llamándose a estas membranas perimisiales que penetran en los haces de fibras y a la vez rodean cada una de las fibras individuales, estas últimas membranas reciben el nombre de endomisio. La carne es un alimento eminentemente proteínico, como lo muestra el Cuadro 1, de allí que las proteínas sean las mayormente responsables de su propiedades funcionales.

PROTEÍNAS DE LA CARNE

Las proteínas del músculo estriado se clasifican de acuerdo con su forma (globulares o fibrosas), localización celular (extracelulares, intracelulares) o solubilidad-función-localización (sarcoplásmicas, miofibrilares, conectivas), siendo esta última clasificación la más usada y en la que se basa su funcionalidad. En este sentido, se clasifican como del tejido conectivo o estromas, solubles en medio neutro

(elastina, colágena y reticulina); del sarcoplasma, solubles en solución salina diluida (se incluyen enzimas hidrosolubles y pigmentos); y miofibrilares, son solubles en soluciones salinas concentradas.

Proteínas del tejido conectivo

Uno de los objetivos del tejido conectivo en el músculo es el de soporte de las fibras musculares y transmisión del esfuerzo y la contracción para la producción del movimiento, por lo anterior es una estructura mecánicamente muy resistente. El tejido conectivo existe en forma de láminas o bandas compuestas de hilos de fibras formadas por tres tipos de proteínas: colágena, elastina y reticulina. La colágena es la proteína más abundante del tejido conectivo. La unidad básica de la colágena es la tropocolágena, estructura larga y delgada, formada por tres cadenas de polipéptidos fuertemente enlazados que dan firmeza y forma; estos enlaces se rompen durante el cocimiento de la carne (Carballo y López de Torre, 1991). La elastina es una proteína presente en proporciones menores en la piel, en el tejido adiposo y en el tejido conectivo, provee resistencia y elasticidad. La reticulina se encuentra en concentraciones bajas; es más resistente que la colágena y bioquímicamente parecida a esta, probablemente une a la colágena en el endomisio constituyendo ligamentos flexibles. Las proteínas del tejido conectivo son muy poco reactivas, es decir, su solubilización solamente se da en medios concentrados de sales. Por lo tanto, su

contribución a la formación de sistemas alimentarios (emulsiones, geles) es muy pobre.

Proteínas sarcoplásmicas

Se llaman así por su localización en el sarcoplasma de la célula muscular; en esta clasificación están incluidos las proteínas solubles en agua, tales como algunas enzimas y algunos pigmentos. Las enzimas presentes en el sarcoplasma tienen propiedades funcionales pobres, pero son importantes por su actividad bioquímica de transporte y almacenamiento de oxígeno. Desde el punto de vista de producción de carne de animales terrestres, la proteína sarcoplásmica más importante es la mioglobina, responsable del color. Dentro de las proteínas sarcoplásmicas se encuentran también las enzimas del citoplasma y lisosomales, como oxidoreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas e isomerasas. La presencia de esta actividad enzimática puede afectar negativamente a la capacidad de proceso, ya que pueden alterar la formación de sistemas al afectar la estructura de espumas o emulsiones, en donde interfieren en la formación de los glóbulos.

Proteínas miofibrilares

Se encuentran localizadas en el sistema miofibrilar, se dividen en contráctiles, reguladoras y de los filamentos intermediarios. Las

proteínas contráctiles están directamente relacionadas con la contracción y relajación muscular, son las responsables de la conversión de energía química a mecánica; también son responsables de la textura de la carne. La miosina y la actina son las proteínas miofibrilares más abundantes, constituyen en conjunto el 75 a 80% de las proteínas de la miofibrilla. Son altamente funcionales, teniendo la capacidad de formar diversos sistemas macroscópicos (emulsiones, geles, etcétera). La miosina es la proteína más abundante, comprende aproximadamente 50% del contenido total de las proteínas muscular (Ko et al., 2004), más de una tercera parte de la proteína del músculo. La actina comprende 20% del total de las proteínas contenidas en la miofibrilla, es la segunda proteína en orden de importancia después de la miosina. Es una proteína globular cuya importancia bioquímica en el músculo vivo es en la conversión de energía química a mecánica, y en la transportación de ATP proporcionando la energía necesaria para la contracción muscular (Carballo y López de Torre, 1991). Otros componentes son las proteínas reguladoras, que promueven el inicio y terminación de la contracción (Carballo y López de la Torre, 1991), y las proteínas de los filamentos intermediarios o proteínas intermediarias: titina (antes llamada conectina), desmina y nebulina.

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES

Las propiedades fisicoquímicas y funcionales determinan el comportamiento del alimento durante la producción, el

almacenamiento y el consumo. Las propiedades funcionales de las proteínas desempeñan un papel fundamental en los alimentos, tanto en los procesos de fabricación como en los atributos de la calidad del producto final. Sin embargo, estas propiedades no son independientes entre sí, muchas de estas se encuentran implicadas en un mismo sistema alimentario de manera simultánea, como la solubilidad y viscosidad, que dependen de las interacciones proteína-agua y proteína-proteína.

Propiedades fisicoquímicas

Son el resultado de la interacción de los componentes químicos a través de fuerzas electrostáticas y químicas. En el caso de las proteínas, estas interacciones electrostáticas son: puentes de hidrógeno, puentes disulfuro, interacciones hidrofóbicas e interacciones dipolo-dipolo. Las interacciones químicas son principalmente de tipo covalentes. Las interacciones también se dan con otras moléculas, como carbohidratos, lípidos o moléculas de menor tamaño. Se manifiestan en sus propiedades organolépticas e instrumentales; las principales son: textura (incluida la jugosidad), color, sabor y pH.

Textura

Existen varias definiciones de textura, la más aceptada se refiere a la manifestación sensorial de la estructura del alimento y la forma es que

esta reacciona al aplicar una fuerza (Cañeque, 2000). También se define por la forma en que los componentes estructurales de un material se arreglan en forma micro y microscópica, y la manifestación externa de este arreglo. La textura en un alimento se relaciona con las propiedades físicas percibidas por la vista, el tacto y los receptores de la boca (Guerrero Legarreta et al., 2002). En los alimentos, la textura se depende de un número de variables; no es posible obtener un índice general en con una medición simple, de tal manera que solo se toman en cuenta a las variables de mayor influencia (Cañeque, 2000). Se considera que las carnes tienen dos tipos de textura: primaria, debida a su ultraestructura (arreglo de las fibras musculares), y secundaria debida a la cantidad de colágena incluida en un músculo determinado. La textura varía entre los diversos músculos, en general los posteriores y con menor tejido conectivo son más suaves que los anteriores (Cañeque, 2000; Guerrero Legarreta et al., 2002; Guerrero Legarreta y Totosa, 2006). Los principales factores que afectan la textura de la carne son: a) Factores *antemortem*: propiedades genéticas y fisiológicas, alimentación, tratamiento de los animales antes del sacrificio y edad al sacrificio; b) Factores *postmortem*: tiempo y temperatura de almacenamiento de la carne después del sacrificio, maduración, congelación, entre otros. La textura de la carne y productos cárnicos se evalúa por técnicas objetivos (mecánicos, como corte, compresión y penetración), químicos y físicos, como ultrasonido y fluorescencia, entre otros), y subjetivos (panel sensorial).

La jugosidad afecta directamente a la textura de la carne; en ocasiones se considera un parámetro de calidad independiente. El agua en la carne se encuentra en dos formas, libre y ligada a la proteína muscular, la jugosidad es la cantidad de líquido que se extrae de un trozo de carne al presionarlo, gustativamente se aprecia como los fluidos que se liberan durante el masticado. Esta propiedad está relacionada con la terniza; mientras más suave sea la carne más jugosa será esta. Por otro lado, un marmoleo más abundante aumenta la jugosidad, mientras que la carne con más agua ligada pierde menos líquido al ser cocida y por tanto da la sensación de mayor jugosidad. La forma que se liga el agua depende del ambiente electrónico de las fibras musculares, y a la vez es consecuencia del pH final del músculo debido a la reducción de pH *postmortem* y durante la maduración de la carne, si esta se propicia. Los métodos más empleados para medir la jugosidad se basan en la aplicación de una fuerza conocida por un tiempo definido. También se emplean métodos subjetivos, a través de un panel sensorial. En este sentido, se han reportado estudios donde la fuerza de corte, asociada con la textura de carne de búfalo de agua, pueden ir desde 20.0 a 45.0 N, dependiendo del músculo en donde se haya realizado la evaluación (Naveena y Kiran, 2004). Por otro lado, un componente asociado con la textura y dureza de la carne es la cantidad de colágeno contenido en las fibras que recubren a las miofibrillas; en este aspecto, se ha encontrado un contenido de hidroxiprolina del 0.12% en búfalos jóvenes. En los que dependiendo de la edad, se va incrementando la proporción de colágeno, esto es,

en músculos de búfalos jóvenes de 1 a 2 años de edad, se encontrará menor contenido de colágeno (0.91 a 1.71 g/100 g) en comparación con animales viejos de 12 años (1.16 a 2.23 g/100 g) (Naveena y Kiran, 2004).

Sabor y olor

El sabor es el resultado de una mezcla compleja de sensaciones percibidas por los sentidos del gusto y olfato, aunque en varias ocasiones se acompaña de estímulos visuales, táctiles y sonoros. En sentido estricto, el sabor se refiere exclusivamente a la percepción que se lleva a cabo en la boca y, específicamente, por la papilas gustativas de la lengua (Schilling y Pham, 2012). Los principales factores que afectan al sabor y olor de la carne son: Edad del animal (al ser más viejo al sacrificio, la intensidad del sabor y olor se incrementa) alimentación y condición fisiológica. La evaluación de estas variables se realiza mediante análisis sensorial, y por métodos instrumentales a través de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. El sabor y olor están relacionados con el método de preparación de la carne. En este sentido, al hacer una evaluación de sabor y olor de la carne de búfalo en relación con diferentes edades del animal, se obtuvieron valores que podrían describirse como levemente intensos (Naveena y Kiran, 2004)

Color

La CIE (Comisión International de L'Eclairage) define el color percibido como el atributo visual que se compone de una combinación cualquiera de contenidos cromáticos y acromáticos. El color es una característica de gran importancia en la estimación de la apariencia de la carne, y es muy variable. Cada músculo difiere en su contenido de mioglobina de acuerdo con la edad del animal, el tipo de músculo, la circulación sanguínea, la actividad muscular y la disponibilidad del oxígeno. Con la edad del animal el color se acentúa y varía en cada músculo individual o grupo de músculos. El color rojizo de la carne es el resultado de la presencia del pigmento mioglobina, una proteína conjugada con un grupo prostético (hemo) el cual contiene hierro que juega un papel primordial en las distintas coloraciones (Guerrero Legarreta, 2006). Este pigmento se presenta en varias formas: la oximioglobina, de color rojo brillante, la metamioglobina de color café y la mioglobina reducida de color rojo púrpura; las altas concentraciones de oximioglobina son muy deseables ya que imparten el color rojo brillante asociado a la carne de óptima calidad (Castigliero et al., 2012). Los cambios de color dependerán de la cantidad de este pigmento y de los cambios químicos del pigmento. El color de la carne es el resultado final de varios y disímiles factores, por lo que una evaluación objetiva generalmente requiere de consideraciones de los factores que lo afectan. Los principales métodos de análisis son: Determinación de hierro total por absorción

atómica y extracción de pigmentos a partir de miofibrillas homogenizadas, se emplea espectrofotometría de absorción y espectrofotometría de reflectancia. Este último método es el más empleado para análisis de rutina en control de calidad.

En cuanto a la concentración de mioglobina de la carne fresca de búfalo, responsable del color de la carne; se encontró un rango de 2,7 a 9,4 mg/g dependiendo del tipo de músculo y la edad del animal. Cabe señalar que se ha reportado que la carne de búfalo de agua se vuelve más oscura conforme aumenta la edad del animal (Naveena Kiran, 2004). Asimismo, Kiran et al. (2016) encontraron una diferencia significativa en el porcentaje de mioglobina en carne de animales jóvenes (31.60%) en comparación con carne de búfalos mayores a 10 meses (23,94%) ($P < 0.01$), lo que podría indicar una mejor estabilidad al color en carne de animales viejos.

En cuanto al grado de color, se ha determinado que pueden tener valores relativos a rojo (*) que van desde 12,0 a 20,0 para carne de búfalo fresca y congelada también dependiente de la edad de los animales (Naveena Kiran, 2004). En este sentido Irurueta et al. (2008) realizaron pruebas para determinar las variaciones en el color que experimenta la carne de búfalo macho castrado, de 20-24 meses de edad, con un peso vivo final de 400 a 420 kg, mantenidas durante 3 periodos de conservación en congelación (-20°C), T1 = carne fresca, T2 = 15 días y T3 = 25 días. Sus hallazgos permitieron determinar que la carne que se mantiene durante más tiempo conservada en

congelación (T3), muestra mayor valor de L^* (34.29 ± 2.56); sin embargo, presenta valores menores de b^* (12.20 ± 2.85) y a^* (12.85 ± 1.17), en comparación con la carne fresca de búfalo ($p < 0.05$), cuando se evalúa el músculo *Longissimus dorsi*. Además, esta variación en los elementos del color, también van a variar dependiendo del músculo analizado, ya que en los músculos *Gluteus medius*, *Gastrocnemius*, *Semimembranosus* del búfalo no se observaron diferencias significativas en alguna característica de color, en ningún tiempo de conservación de la carne.

Como se ha podido determinar, la edad del animal puede afectar las características fisicoquímicas y sensoriales de la carne de búfalo. Awan et al. (2014), estudiando estas características en el músculo *Longissimus dorsi* de búfalos a tres edades: menores a 1.5 años, entre 1.5 y 2 años, y mayores a 2 años; encontraron variación en la capacidad de retención de agua, pérdidas por cocción y pérdidas por goteo, debido a la variación en cantidad de proteína y grasa entre los tres grupos. A pesar de estas diferencias, un panel sensorial no detectó diferencias significativas entre los tres grupos con respecto a sabor, jugosidad, suavidad y palatabilidad general.

Por su parte, Hassan et al. (2018) compararon las características fisicoquímicas y sensoriales de res brasileña y búfalo indio. Los resultados indicaron mayor contenido de proteína total, grasa y proteína soluble total, y menor cantidad de colágena en búfalo indio. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en pH, TBA (grado de

oxidación) y TVBN (Nitrógeno volátil total). Los atributos sensoriales indicaron mejor apariencia, suavidad y jugosidad en res brasileña, así como un decremento en el esfuerzo cortante y un aumento en el color, medido por la intensidad del rojo (a) y de la luminosidad (L).

Lapitan et al. (2007) estudiaron el rendimiento de la canal y las características físicas, químicas, de procesamiento y sensoriales de la carne de cruza de ganado Brahman, comparado con cruza de carabao tailandés con búfalo de agua (Murrah), alimentados con dietas similares. Estos autores encontraron que, aunque el búfalo tenía mayor peso vivo al sacrificio, el rendimiento de la canal era menor, tanto en canal caliente como refrigerada. El menor rendimiento de la canal se atribuyó a que el búfalo produjo un mayor peso de subproductos de matanza, comestibles y no comestibles. Se reporta también que los contenidos de proteína total, grasa, colesterol, cenizas, y proteínas miofibrilares, sarcoplásmicas e insolubles eran similares en carne de res y búfalo carabao. La capacidad de retención de agua, pH, diámetro de las fibras musculares, suavidad, firmeza y marmoleo en cruza de búfalo de agua fueron similares que en cruza de Brahman. La intensidad del rojo, medido instrumentalmente, fue mayor en cruza de búfalo en comparación con el de res. Sin embargo, los consumidores prefirieron en 55.9% a la carne de res. Se concluyó que el color y la cantidad de grasa intermuscular fueron los elementos de selección del consumidor en el momento de la compra.

Cuando se habla de carne de res, además, éste producto es adquirido por la cantidad y la calidad de la grasa infiltrada que le proporciona jugosidad; sin embargo, en años recientes, se ha limitado el consumo de este tipo de alimento debido a su asociación con problemas de salud mediados por la circulación sanguínea en el ser humano. En este sentido Cifuni et al. (2014), examinaron el efecto de diferentes dietas de finalización (heno de alfalfa frente al ensilado de maíz en los concentrados) sobre la calidad de la canal. Uno de los factores estudiados fue el perfil de ácidos grasos de la carne de búfalo. Estos investigadores encontraron que cuando los búfalos son alimentados con heno de alfalfa, se incrementan significativamente las concentraciones de los siguientes ácidos grasos: Linoleico poliinsaturado (C18: 2n6, $P < 0.01$), γ -linolénico (C18: 3n6, $P < 0.001$), α -linolénico (C18: 3n3, $P < 0.001$), C20: 3n6 ($P < 0.001$), C20: 4n6 ($P < 0.01$), C20: 5n3 ($P < 0.05$) C22: 4 n6 ($P < 0.01$) y C22: 5n3 ($P < 0.01$), en comparación con las canales de búfalos alimentados con silo de maíz. Aunado con ello; Joele et al. (2017) no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de finalización de búfalos en sistema tradicional y sistema silvopastoril + suplementación para la mayoría de los ácidos grasos evaluados en la carne; sin embargo, observaron mayor concentración de ácido mirístico en las carnes de búfalos finalizados en el sistema silvopastoril con suplementación y un porcentaje más elevado de ácidos grasos poliinsaturados en la carne procedente de animales finalizados en el sistema tradicional. Estos investigadores atribuyen sus resultados a que debido a los carotenos y

otros antioxidantes que son consumidos por los animales en pastoreo, las carnes contendrán una mayor proporción de lípidos denominados “saludables”, benéficos para la salud humana, en comparación con la carne de animales confinados suplementados que presentan altas concentraciones de lípidos con ácidos grasos saturados.

Por otro lado, Irurueta et al. (2008), estudiaron carne de búfalos del Delta del Paraná, Argentina, mayormente de las razas Mediterránea y Murrah, midiéndose la suavidad y masticabilidad durante el añejamiento *postmortem*. Aunque estas variables aumentaron con el tiempo, las calificaciones de los panelistas para sabor y olor no se afectaron, aunque se reportaron algunas notas de sabores y olores extraños. Los cambios en el color fueron similares a los de carne de res.

pH

Uno de los elementos importantes en el desarrollo de las características fisicoquímicas de la carne es el valor final del pH_f y su velocidad de que influyen directamente sobre el color, la textura, la capacidad de retención de agua, y la calidad tecnológica de la carne. Aunado a lo anterior, son estas características que busca el consumidor para tomar la decisión de compra. Recientemente los consumidores de carne están exigiendo que los animales de los cuales procede la carne, hayan sido manejados, transportados y faenados

usando prácticas humanitarias, lo cual también impacta en el pH_f de la carne (Hargreaves et al., 2004).

Durante la muerte y el proceso de obtención de carne, el cese de la circulación sanguínea produce el agotamiento del oxígeno en los tejidos y un aumento del metabolismo celular anaeróbico. Lo cual favorece que el músculo comience a degradar glucógeno y producir ácido láctico vía de la glucogenólisis y la glucólisis.

Al incrementarse la concentración de ácido láctico, disminuye el valor de pH muscular desde valores cercanos a 7.0 hasta valores de pH_f entre 5.5 y 5.6 en la carne. Inclusive, puede alcanzar valores más bajos, aproximadamente de 5.45, donde se inhibe la actividad de las enzimas glucolíticas, debido al agotamiento de las reservas de glucógeno (Hargreaves et al., 2004).

En este sentido, se han evaluado diferentes presentaciones de carne de búfalo, en los cuales se ha reportado que un pH muscular post-mortem que varía de 5.50 a 5.70 en cubos de carne fresca y empanadas de carne de búfalo molida (Naveena y Kiran, 2014). Aunque en el estudio desarrollado en Brasil por Joele et al. (2017), evaluando las características físicas de la carne de búfalos (Murrah×Mediterráneo) y al comparar dos métodos de finalización, ya sea en el sistema tradicional o sistema tradicional + silvopastoril con suplementación, demostraron que el tipo de sistema de producción en el que se finalizan los búfalos, no tiene efecto diferencial entre las propiedades físicas que se evalúan en la carne. Por ejemplo, el pH de

la carne de búfalo se encontró en el umbral entre 5.54 ± 0.37 (Tradicional) a 5.71 ± 0.03 (Silvopastoril + suplemento) ($p > 0.07$).

Estos estudios permiten concluir que las propiedades fisicoquímicas de la carne magra de búfalo y de res son similares. El Cuadro 2 muestra la comparación de las propiedades fisicoquímicas entre la carne de res y la carne de búfalo. También se ha podido determinar algunas propiedades diferenciales, como la grasa de búfalo, es más blanca, y la carne de búfalo es más oscura que la de res, debido a la pigmentación y a menos grasa intermuscular comparada con la res. Los paneles sensoriales indican que la suavidad es también similar, sin embargo, el búfalo retiene la suavidad en mayor tiempo de añejamiento que la res, debido a que la dureza del tejido conectivo del búfalo endurece a mayor edad que en la res.

Cuadro 2. Comparación de las propiedades fisicoquímicas, ultraestructurales y funcionales entre la carne de res y la carne de búfalo de agua

CARACTERÍSTICA FISICOQUÍMICA	CARNE DE RES (<i>Bos taurus</i> o <i>Bos indicus</i>)	CARNE DE BÚFALO DE AGUA (<i>Bubalus bubalis</i>)	Referencia bibliográfica
Textura Warner-Bratzler Fuerza de corte (N)	16.9-59.9 ⁽¹⁾	40.52 ⁽¹⁾ Animales ⁽²⁾ jóvenes (<2 años) 54.28 Viejos (>10 años) 41.79	⁽¹⁾ (Naveena y Kiran, 2014) ⁽²⁾ (Kiran et al., 2016)
Concentración de colágeno (mg/g de tejido)	0.37 ⁽¹⁾	0.67 ⁽¹⁾	(Naveena y Kiran, 2014)
Solubilidad del colágeno	45% (5)	45.5% ⁽¹⁾	⁽¹⁾ (Naveena y Kiran, 2014) ⁽⁵⁾ (Panea y Ripoll, 2019)
Longitud de la sarcómera (μ)	1.75-2.31 ⁽¹⁾	1.65 ⁽¹⁾ Animales ⁽²⁾ jóvenes (<2 años) 1.78 Viejos (>10 años) 1.67	⁽¹⁾ (Naveena y Kiran, 2014) ⁽²⁾ (Kiran et al., 2016)
Perfil de ácidos grasos	0.67 ± 0.05 (ST) 0.59 ± 0.05(SO)	3.55±3.673 FST 9.99±3.660 FSS+S	⁽³⁾ (Joele et al., 2017) ⁽⁴⁾ Ribas-Agustí, 2019
C14:0 – ácido mirístico (g kg ⁻¹)			
C18:1 – Oleic ω9 (g kg ⁻¹)	11.33 ± 0.46 (ST) 9.19 ± 0.87 (SO) ⁽⁴⁾	35.19±13.482 a 35.98±2.382 (SEM 3.05)	⁽³⁾ (Joele, et al., 2017) ⁽⁴⁾ Ribas-Agustí, 2019
C18:2 – Linoleic ω6 (g kg ⁻¹)	1.66 ± 0.09 (ST) 1.83 ± 0.13(SO) ⁽⁴⁾	6.79±3.132 a 5.98±2.333 (SEM 0.97)	⁽³⁾ (Joele, et al., 2017) ⁽⁴⁾ Ribas-Agustí, 2019
C18:3 – Linolenic ω3 (g kg ⁻¹)	0.03 ± 0.01 (ST) 0.07 ± 0.01** *(SO) ⁽⁴⁾	0.59±1.022 0.48±0.104 (SEM 0.49)	⁽³⁾ (Joele, et al., 2017) ⁽⁴⁾ Ribas-Agustí, 2019
C20:1 – Eicosamonoenoico ω9 (g kg ⁻¹)	0.20 ± 0.02* ** (ST) 0.11 ± 0.01(SO) ⁽⁴⁾	1.88±0.894 a 0.96±1.514 (SEM 0.49)	⁽³⁾ (Joele, et al., 2017) ⁽⁴⁾ Ribas-Agustí, 2019
Color	3.0-5.0 ⁽¹⁾	4.0-6.0 ⁽¹⁾	⁽¹⁾ (Naveena y Kiran, 2014) ⁽²⁾ (Kiran et al., 2016)
Concentración de mioglobina (mg/g de carne)		Animales ⁽²⁾ jóvenes (<2 años) 2.36 Animales longevos (>10 años) 3.59	
CIE L*	33.2-41 ⁽¹⁾	34.47 ⁽¹⁾ 34.15±3.06 FST ⁽³⁾ 35.98±2.38 FSS+S ⁽³⁾	⁽¹⁾ (Naveena y Kiran, 2014) ⁽³⁾ (Joele et al., 2017)
CIE a*	11.1-23.6 ⁽¹⁾	12.21 ⁽¹⁾ , 15.26±1.24 FST 15.96±1.27 FSS+S ⁽³⁾	⁽¹⁾ (Naveena y Kiran, 2014)
CIE b*	6.1-11.3 ⁽¹⁾	10.93 ⁽¹⁾ ; 15.26±1.24 FST 15.96±1.27 FSS+S ⁽³⁾	⁽¹⁾ (Naveena y Kiran, 2014)
pH _i	5.47 ⁽¹⁾	5.56 ⁽¹⁾	⁽¹⁾ (Naveena y Kiran, 2014)
CRA (%)	37 ⁽¹⁾	15.33 ⁽¹⁾ Animales ⁽²⁾ jóvenes (<2 años) 31.33 Animales longevos (>10 años) 35.33	⁽¹⁾ (Naveena y Kiran, 2014); ⁽²⁾ (Kiran et al., 2016)
Evaluación en el músculo <i>Longissimus dorsi</i> ; L*, luminosidad; a*, intensidad rojo / verde; b*, intensidad amarillo / azul; SFT - Sistema de finalización tradicional FSS+S -Sistema de finalización silvopastoril + suplementación ST- Sistema tradicional; SO-Sistema Orgánico			

Propiedades funcionales

El concepto de propiedad funcional se aplica tanto al desempeño bioquímico de un alimento o componente de este, como a su habilidad para interactuar con otras moléculas para producir sistemas físicos. Estas propiedades pueden ser divididas de acuerdo al tipo de papel que desempeñaran: Tecnofuncional o biofuncional (Cuadro 3). El presente capítulo también se refiere a las propiedades tecnofuncionales.

Cuadro 3. Clasificación de las propiedades funcionales

Propiedad Funcional	Tipo de Propiedad	Ejemplos
Tecnofuncional	Solubilidad	Solubilidad
		Precipitación
		Espesante
	Reológicas	Gelificación
		Textura
Biofuncional	Surfactantes	Emulsificantes
		Espumantes
	Sensoriales	Sabores
		Aromas
	Nutricionales	Digestibilidad
		Actividad antimicrobiana
		Antioxidación

Debido a que los sistemas cárnicos predominan compuestos de agua, proteínas y grasas; estos tres tipos de moléculas son las que, a través de diversas interacciones, forman sistemas físicos, generalmente

bifásicos, que proporcionan estructuras en productos procesados, como geles, espumas, emulsiones, entre otras. Mientras que en la carne no procesada las principales propiedades funcionales son retención de agua y solubilidad. Las proteínas cárnicas, participan en tres tipos de interacciones: proteína-agua, proteína-proteína y proteína-grasa.

Las propiedades funcionales de las proteínas dependen de factores intrínsecos y extrínsecos. Entre los factores intrínsecos están las características químicas, físicas, estructurales y conformacionales, como la composición y la secuencia de aminoácidos; el tamaño, la forma y la distribución de la molécula; los enlaces con otras moléculas a través de grupos reactivos y la hidrofobicidad superficial, entre otros. Los factores extrínsecos son los de tipo ambiental y de proceso; dentro de los primeros están el pH, la concentración y tipo de iones, la temperatura, la interacción con otros componentes, mientras que entre los factores de proceso están el método de extracción de la proteína ya sea (calentamiento, congelación, refrigeración, secado, modificación química o enzimática), así como la manipulación durante el proceso de obtención de proteínas.

Para tener características de funcionalidad, las proteínas deben estar en un medio acuoso. Los grupos reactivos de una proteína en este medio se comportan de diferentes formas; los grupos polares están orientados hacia la fase acuosa mientras que los no polares lo están

hacia la parte interna de la molécula, dando como consecuencia la estabilidad de la conformación de la proteína por acción del agua. Sin embargo, también la composición de los aminoácidos es importante ya que los aminoácidos no polares causan cambios en las interacciones intermoleculares, tales como enlaces peptídicos, interacciones con agua y en la superficie (con aceite o aire) para formar emulsiones y espumas (Lins et al., 2003). El Cuadro 4 enlista a las principales propiedades funcionales de las proteínas cárnicas.

Cuadro 4. Propiedades funcionales de las proteínas cárnicas presentes en sistemas cárnicos

Propiedad Funcional	Ejemplos
Hidratación	solubilidad, viscosidad, absorción, retención de agua, viscosidad, gelificación
Superficie	precipitación, gelificación, emulsificación, espumado
Estructurales	cohesión-adhesión, elasticidad
Ligantes	con lípidos, carbohidratos o aromas
Otros	antioxidantes

Hidratación

El tipo de enlaces involucrados en las interacciones proteína-agua son fundamentalmente puentes de hidrógeno o dipolo-dipolo. Las interacciones proteína-agua promueven las propiedades de

hidratación durante el proceso de producción de los alimentos, ya sea viscosidad, solubilidad, gelificación, o propiedades de superficie como emulsificación y espumado. Las principales propiedades de hidratación son solubilidad, retención de agua y viscosidad.

Solubilidad

Es la propiedad por la cual determinada cantidad de proteína se mantiene en solución bajo condiciones específicas, y no precipita a fuerzas centrifugas moderadas. La solubilidad de las proteínas depende de la composición de aminoácidos, la cuantificación de aminoácidos polares y no polares, así como la conformación de la proteína. Por otro lado, está condicionada por varios factores tales el pH, tipo de iones presentes y la concentración de estos. El conocimiento de la influencia de estos factores sobre la solubilidad es muy útil para seleccionar las condiciones óptimas de extracción de las proteínas de sus fuentes originales, reflejando así resultados para la optimización de las condiciones de proceso.

Capacidad de retención de agua

Hay dos conceptos que se relacionan con la capacidad de retención de agua: la capacidad de absorción de agua y la capacidad de ligar agua. La primera es la cantidad de agua absorbida por una proteína a una humedad determinada, mientras que la segunda se refiere al agua

retenida por una proteína después de la operación de filtración, o de aplicarle una presión o fuerza centrífuga, como es en el caso de productos cárnicos. La capacidad de retención de agua varía en función del tipo de proteína, concentración, pH, fuerza iónica, temperatura y la presencia de otros componentes, como sales. En la carne no procesada la retención de agua es fundamental para incrementar la jugosidad del producto, y por lo tanto su aceptación por parte del consumidor.

Viscosidad

La viscosidad de las soluciones proteínicas es el cociente entre la fuerza de corte y la velocidad relativa de corte, por lo que es una forma de medir resistencia al flujo (Jiménez Colmenero et al., 2012). La viscosidad está determinada por el número y tipo de moléculas, así como por su arreglo en el medio; éste a la vez puede ser compuesto solamente por agua, contener disolvente y/o macromoléculas (Cofrades et al., 1996).

Existe una relación lineal entre la viscosidad y la concentración de las macromoléculas presentes, principalmente proteínas, debido a la relación que existe entre la solubilidad de las partículas y la saturación de las mismas en el medio, así a menor concentración hay un descenso de la viscosidad, por otro lado a concentraciones grandes de proteína los valores de viscosidad aumentan debido a que predomina la

interacción proteína-proteína (Pearce y Kinsella, 1978). También se ha observado que cuando existe desnaturalización de las proteínas miofibrilares se agregan dando como consecuencia una disminución de la solubilidad de estas, y por lo tanto una disminución en el valor de la viscosidad.

Por otro lado, la carga electrostática de las proteínas en suspensiones también afecta a la viscosidad ya que en el punto isoelectrico de la proteína no hay solubilidad y existe agregación. Aunado a esto, los valores de viscosidad están condicionados por el pH del medio. El efecto del pH sobre la viscosidad de soluciones proteínicas depende de las características intrínsecas e individuales de la proteína en estudio. La viscosidad disminuye al aumentar la temperatura debido al rompimiento de enlaces de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals, interacciones hidrofóbicas y electrostáticas, dando como consecuencia la desestabilización de la proteína y la subsecuente agregación (Rha y Pradipasena, 1986).

Propiedades de superficie

Estas involucran a las interacciones de proteínas en interfases, donde una de estas es acuosa y la otra es aceite o aire. En el primer caso, donde las fases son agua y aceite se refiere a propiedades de emulsificación; en el segundo, cuando las fases son agua y aire se refiere a espumado. Al igual que en otras propiedades funcionales, el

comportamiento de las proteínas en la interfase está afectado por las interacciones físicas del medio, por la composición, por la conformación espacial de la proteína, y por la naturaleza de la otra fase (aceite o aire). Las principales propiedades de superficie son: espumado, gelificación y emulsificación.

Espumas: La espuma es una dispersión de burbujas de aire en un líquido (Damodaran, 2005). Al igual que otras propiedades funcionales, el espumado depende de factores intrínsecos de la proteína como la hidrofobicidad total y superficial, la carga neta y superficial, la flexibilidad y conformación molecular, y la susceptibilidad al trabajo mecánico durante el proceso de formación de espuma (Wagner, 2000). Los factores dependientes del medio que afectan a las propiedades espumantes de las proteínas son la concentración y solubilidad proteica, el pH, la concentración y tipo de sales.

Geles: La gelificación es la agregación de moléculas desnaturalizadas para la formación de una red proteínica ordenada y tridimensional. Se forma en dos etapas, la primera de desnaturalización y desdoblamiento de la proteína, y la segunda es la agregación de las moléculas parcialmente hidrolizadas, hasta la formación de la red proteica, la cual se propone que es el resultado del equilibrio de interacciones proteína-proteína, proteína-agua así como fuerzas de atracción y repulsión de las cercanas cadenas polipeptídicas (Cheftel et

al., 1989). Los parámetros que afectan la gelificación son la concentración y tipo de proteína, el pH, temperatura, fuerza iónica y la participación de otros componentes.

Emulsiones: Las emulsiones constituyen a un gran número de productos alimenticios, tales como la leche, la crema, la mantequilla, las bebidas no alcohólicas, las sopas instantáneas, las pastas, la mayonesa, los aderezos, las salsas y los helados, entre otros (Damodaran, 2005). Una emulsión es un sistema heterogéneo y meta estable, formado por dos fluidos inmiscibles, comúnmente en alimentos estos son agua y aceite. Una de las fases está dispersa en la otra mediante partículas de tamaño coloidal en forma de gotas (Dimitrova et al., 2004; Damodaran, 2005). La formación de una emulsión se lleva a cabo mediante acción de un sistema mecánico a través de homogenizadores; los más usados en la industria de los alimentos son los molinos coloidales, de alta presión, ultrasónicos, de membrana, de métodos de micro fluidización y de alta velocidad (McClements, 2007).

Entre estos productos cárnicos procesados, tienen un lugar preponderante los finamente picados o emulsionados, como las salchichas tipo Viena y Frankfurt, la boloña, los pasteles (de pollo, de pimienta, etcétera). Todos estos productos se clasifican como emulsiones cárnicas. Una emulsión cárnica se define como una mezcla de proteínas musculares, grasa, agua, sal y otros ingredientes, que

después del cocimiento resulta una mezcla homogénea con una estructura compleja en la que interactúan las materias primas (Ugalde-Benítez, 2012). La estructura de estos productos se ha llamado pasta o emulsión cárnica del tipo aceite en agua, donde las proteínas miofibrilares actúan como agentes emulsificantes fundamentales (Gordon y Barbut, 1992). En la preparación de una emulsión cárnica se destacan tres propiedades de las proteínas: la interacción agua-proteína, la asociación lípido-proteína y la agregación proteína-proteína. Estas propiedades son las responsables de la capacidad de retención de agua, de emulsión y de la gelificación.

La carne de búfalo posee buenas propiedades funcionales para el procesamiento de varios productos cárnicos como salchichas (Sachindra et al., 2005), hamburguesas (Modi et al., 2003; Suman y Sharma, 2003; Nissar et al., 2009; 2008) y asado al pastor o kebabs (Hoda et al., 2002). Las propiedades reológicas, estructurales y nutricionales de los productos cárnicos molidos dependen principalmente del contenido de grasa en la formulación y el método de cocción, la cual juega un papel fundamental en la formación de una emulsión estable e imparte mejor textura, jugosidad y sabor a estos productos (Kumar y Sharma, 2004), mientras que el método de cocción determina los atributos de procesamiento y sensoriales, principalmente la apariencia, el color y la jugosidad. Nisar et al. (2010) estudiaron la funcionalidad y características fisicoquímicas de hamburguesas de carne de búfalo, cocinadas en horno, microondas y a

presión

incorporadas con harina de tapioca, con respecto al retención de agua. Los resultados mostraron que la cocción por microondas produjo material con mayor retención de grasa y rendimientos de cocción. Sin embargo, la cocción en horno tuvo mayor aceptación sensorial (apariencia y color, sabor, jugosidad y textura); este método dio resultados como “excelente a muy bueno” mientras que la cocción por microondas y a presión fue de “bueno a muy bueno”.

Recientemente se ha prestado mucho interés en la ultraestructura celular o el proteoma, que en el caso de la carne se puede definir como el conjunto de proteínas que en este caso animales destinados al abasto de carne sintetizan, a partir de los genes que contiene el organismo para dar a la célula su carácter individual, en este caso las miofibrillas. El proteoma se modifica de acuerdo con el tiempo de desarrollo, el tipo de tejido y las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrolla el organismo tales como el estrés; por lo que entender de manera molecular cómo opera la célula bajo diversas circunstancias permite entender el papel que juega por ejemplo, en el proceso salud-enfermedad. En el caso de la carne se ha introducido el estudio de la proteómica, debido a que el impacto biológico del perfil del proteoma en la calidad de la carne es vital para desarrollar diferentes estrategias para mejorar calidad del producto (Kiran et al., 2016). En este sentido, Kiran et al. (2016), estudiaron la ultraestructura de la carne producida a partir de búfalos jóvenes y

animales viejos, como modelo de comparación para investigar el proceso de tenderización utilizando la ultraestructura y así tratar de dar una mejor explicación de los mecanismos bioquímicos que influyen en la conversión del músculo en carne y los factores relacionados con la terneza, tal como se ha estudiado en la carne la carne de res y porcino (Kiran et al., 2016).

Mediante las imágenes obtenidas por microscopía óptica se encontró variación en el diámetro de la fibra muscular entre carne de búfalo de animales jóvenes en comparación con animales viejos. En lo que respecta al espacio intermiofibrilar, Kiran et al. (2016), observaron que hay áreas más blancas o de color gris entre las fibras musculares de los búfalos menores a 2 años de edad, en comparación con los colores más oscuros hallados en las fibras musculares en carne procedente de animales mayores a 10 años de edad (Kiran et al., 2016), implicando mayor engrosamiento en las fibras musculares en muestras cárnicas de animales viejos, con grandes haces de fibras musculares en comparación con músculos de búfalos jóvenes. Por otro lado, las amplias áreas entre los haces de fibras musculares en los animales jóvenes indicarían una capa de mayor grosor de perimisio, lo cual contribuiría significativamente a la dureza de la carne conforme se incrementa la edad del búfalo.

CONSIDERACIONES FINALES

La carne de búfalo de agua tiene propiedades fisicoquímicas y funcionales similares a la de la carne de res. Aunque su composición química presenta ventajas sobre la de vacuno del género *Bos*, tales como cantidad menor de colesterol y perfil de triglicéridos, en algunas características de aceptabilidad, principalmente el sabor, tiene desventajas. Como materia prima es funcionalmente similar a la de vacuno (res), con características de proceso, almacenamiento y consumo ventajosas.

REFERENCIAS

- Aguilar-Guggembhul, J., 2015. Incorporación de ácidos grasos de cadena larga (DHA y EPA) a la dieta de porcinos y su repercusión en la calidad de la carne y grasa. Tesis. Doctorado en Biotecnología. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
- Alarcón-Rojo, A.D., Janacua-Vidales, H., 2010. Capítulo 18. Alteraciones de las reacciones enzimáticas *post-mortem* en carnes PSE y DFD. En: Bienestar animal y calidad de la carne. Primera edición. (Eds). Mota-Rojas, Guerrero, y Trujillo. BM Editores. México. p. 287-299.
- Alarcón-Rojo, A., Mota-Rojas, D., García-Galicia, I., Cruz-Monterrosa, R., Ramírez-Bribiesca, E., Olmos-Hernández, A., Guerrero Legarreta,

- I., 2020. Dark cutting in river buffalo: Effect of management and environmental factors. *Agroproductividad* 13, 93-98.
<https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1927>
- Anjaneyulu, A. S. R., V. Lakshmanan, N. Sharma, N. Kondiah., 1990. Buffalo meat production and meat quality. *Indian Food Packer* 44(4):21-31.
- Awan, K., Akbar Khan, S., Mohsin Khan, M., Tehseen Khan, M., 2014. Effect of Age on Physico-Chemical and Sensorial Quality of Buffalo Meat. *Global Vet.* 13 (1), 28-32.
- Cañeque, V., 2000. Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid. p. 9.
- Castigliego, L., Armani, A., Guid, A., 2012. Meat color. En: *Handbook of Meat and Meat Processing*. Hui Y.H. (Ed.). CRC Press, Boca Raton FL. p. 81.
- Cedr s, J. F., Crudeli, G.A. Patiño, E.M., Rebak, G. I., Bernardi, A., Rivas, P.A., Barrientos, G.J. 2002. Composición química y características físicas de la carne de búfalos criados en forma extensiva en la provincia de Formosa. *Sitio Argentino de Producción Animal* Sitio Argentino de Producción Animal.
<http://www.unne.edu.ar/cyt/200204-VeterinariasA/-040.pdf>
- Cheftel, J.C., Cuq, J.L., Lorient, D., 1989. Proteínas alimentarias – Bioquímica, Propiedades Funcionales, Valor nutricional, Modificaciones químicas.- Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp 141-162.

- Cifuni, G. F., Contò, M., Amici, A., Failla, S., 2014. Physical and nutritional properties of buffalo meat finished on hay or maize silage-based diets. *Anim. Sci. J.*, 85, 405-410.
- Cruz-Monterrosa, R.G., Mota-Rojas, D., Ramírez-Bribiesca, E., Mora-Medina P., Guerrero Legarreta I., 2020. Scientific findings on the quality of river buffalo meat and it's prospects for future studies. *J. Buffalo Sci.* 9, 170-180. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.18>
- Cofrades, S., Carballo, J., Carenche, Jiménez-Colmenero F., 1996. Emulsifying properties of actomyosin from several species. *Lebensm.-Wiss. U.-Tecnol.*, 29:379-383.
- Damodaran, S., 2005. Protein Stabilization of emulsions and foams. *J. Food Sci.* 70(3), 54-66.
- De Smet, S., Vossen, E., 2016. Meat: The balance between nutrition and health. A review. *Meat Sci.*, 120, 145-156.
- Dimitrova, T. D., Leal-Calderon, F., Gurkov, T.D., Campbell B., 2004. Surface forces in model oil-in-water emulsions stabilized by proteins. *Adv. Colloids and Interface Science* (108-109):73-86.
- FAO., 2007. Producción y Sanidad Animal Departamento de Agricultura y Protección al Consumidor. http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html.
- Gordon, A., Barbut S., 1992. Mechanisms of meat batter stabilization: a review. *Critical Rev. Food Sci. Nutrition* 32, 299-332.

- Guerrero Legarreta, I., Ponce, E., Pérez, M.I., 2002. Curso Práctico de Tecnología de Carnes y Pescado. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. México D.F.
- Guerrero Legarreta, I., Totosa, A., 2006. Propiedades funcionales de la carne. En: Ciencia y Tecnología de Carnes. Y. Hui, I. Guerrero Legarreta, M. Rosmini (Eds.). Editorial Limusa. México D.F. p. 235.
- Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R., Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J., 2019a. The Water Buffalo: versatile, rustic and sustainable as a meat producer (In spanish). Agro Meat. Buenos Aires, Argentina. 2019. Febrero: 1-10.
- Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R., Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J., 2019a. The river Buffalo: versatile, rustic and sustainable as a meat producer (In spanish). Agro Meat. Buenos Aires, Argentina. 2019. Febrero: 1-10.
- Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. 2019b. El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales. Segunda edición. México, Editorial BM Editores. Enero, 2019. Ciudad de México. p.p. 1-881. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>
- Guerrero Legarreta, I., Rosmini, R., Mota-Rojas, D., Fernández-López, J., Cruz-Monterrosa, R., Pérez-Álvarez, J.A., 2019c. Capítulo 22.

Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua. En: Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., & Orihuela, A. (Ed.), El búfalo de agua en las Américas. México. BM Editores.

Guerrero Legarreta, I., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., 2019d. Capítulo 6. El búfalo de agua productor de carne por el mundo: indicadores productivos y sanitarios. En Guerrero Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (192-224), Segunda edición. México, BM Editores.
<https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Guerrero Legarreta, I., Strappini, A., Mota-Rojas, D., García, I., Ramírez, B.E., Ghezzi, D.M, Cruz-Monterrosa, R., Lázaro de la Torre, C. Mora-Medina, P., Olmos, A.; Lemus, F.C., Gutiérrez, Q., Olvera, L., Flores, P.S., Alarcón-Rojo, A., 2019e. Capítulo 21. Manejo previo a la muerte y calidad de la carne del búfalo. En: Guerrero Legarreta, I.; Napolitano, F.; Mota-Rojas, D.; Orihuela, A. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 714-758), Segunda edición. México, BM Editores. México. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Cruz-Monterrosa, R., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Ramírez-Bribiesca, E., Bertoni, A.,

- Berdugo-Gutiérrez, J., & Braghieri, A., 2020. River buffalo meat production and quality: sustainability, productivity, nutritional and sensory properties. *J. Buffalo Sci.* 9, 159-169. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.17>
- Hargreaves, A., Barrales, L., Peña, I., Larraín, R., Zamorano, L., 2004. Factores que influyen en el pH último e incidencia de corte oscuro en canales de bovinos. *Cien. Inv. Agr*, 31, 155-166.
- Hassan, M.A., Abdel-Naeem, H.H.S., Mohamed, H.M.H., Yassien, N.A., 2018. Comparing the physico-chemical characteristics and sensory attributes of imported Brazilian beef meat and imported Indian buffalo meat. *J. Microbiol. Biotech. Food Sci.* 8(1), 672-677.
- Hoda, I. S., Ahmad, A.K. Srivastava., 2002. Effect of microwave oven processing, hot air oven cooking, curing and polyphosphate treatment on physico-chemical, sensory and textural characteristics of buffalo meat products. *J. Food Sci. Technol.* 39(3), 240-245.
- Irurueta, M., Cadoppi, A., Langman, L., Grigioni, G., Carduza, F., 2008. Effect of aging on the characteristics of meat from water buffalo grown in the Delta del Paraná region of Argentina. *Meat Sci.* 79, 529–533.
- Jiménez Colmenero, F., Herrera, A., Cofrades, S., Ruiz-Capillas, C., 2012. Meat and functional foods. En: *Handbook of Meat and Meat Processing*. Hui Y.H. (Ed.) CRC Press, Boca Raton FL. p. 225.

- Joele, M. R., Lourenço, L. F., Lourenço Júnior, J. B., Araújo, G. S., Budel, J. C., Garcia, A.R., 2017. Meat quality of buffaloes finished in traditional or silvopastoral system in the Brazilian Eastern Amazon. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(6), 1740-1745.
- Kiran, M., Naveena, B. M., Reddy, K. S., Shahikumar, M., Reddy, V. R., Kulkarni, V. V., More, T.H., 2016. Understanding tenderness variability and ageing changes in buffalo meat: biochemical, ultrastructural and proteome characterization. *Animal*, 10, 1007-1015.
- Ko, W.C., Hwang, J.S., Jao, C.L., Hsu, K.C., 2004. Denaturation of Tilapia Myosin Fragments by High Hydrostatic Pressure. *J. Food Sci.* 69(8), 604-607.
- Kumar, M., B. D. Sharma. 2004. The storage stability and textural, physico-chemical and sensory quality of low-fat ground pork patties with carrageenan as fat replacer. *Inter. J. Food Sci. Technol.* 39, 31-42.
- Lapitan, R.M., Del Barrio, A.Katsube, O., Ban-Tokuda, T., Orden, E.A., Robles, A.Y., Fujihara, T., Homma, H., Kanai, Y., 2007. Comparison of carcass and meat characteristics of Brahman grade cattle (*Bos indicus*) and crossbred water buffalo (*Bubalus bubalis*). *Anim. Sci. J.* 78: 596–604.
- Lin, Y., Kreeft, A., Schuurbijs, J.A., Draijer, R., 2001. Different effects of conjugated linoleic acid Isomers on lipoprotein lipase activity in 3T3-L1 adipocyte. *Nutrition Biochem.* 12, 183-189.

- McClements, D.J., 2007. Critical review of techniques and methodologies for characterization of emulsion stability. *Critical Rev. Food Sci. Nutrition* 47, 611–649.
- Modi, V. K., Mahendrakar, N. S., Rao, D. N., Sachindra, N.M., 2003. Quality of buffalo meat burger containing legume flour as binders. *Meat Sci.* 66, 143-49.
- Mohammad Nisar P. U., Chatli, M. K., Sharma, D. K., Sahoo, J., 2010. Effect of Cooking Methods and Fat Levels on the Physico-chemical, Processing, Sensory and Microbial Quality of Buffalo Meat Patties. *J. Anim. Sci.* 23(10), 1380 – 1385.
- Naveena, B. M., Kiran, M., 2014. Buffalo meat quality, composition, and processing characteristics: Contribution to the global economy and nutritional security. *Anim. Front.*, 4, 18-24.
- Nascimento, C., Moura Carvalho, L.O. 1993. *Criacao de Bufalos: alimentacao, manejo, melhoramiento e instalacoes*. Embrapa SPI, Brasilia, Brasil.
- Nissar, P. U., Chatli, M. K., Sharma, D.K., 2009. Efficacy of tapioca starch as fat replacer in low-fat buffalo meat patties. *Buffalo Bull.* 28(1), 18-25.
- Nissar, P. U., Chatli, M. K., Sharma, D.K., 2008. Efficacy of Soy Protein Isolate (SPI) as fat replacer on quality of low-fat buffalo meat patties. *Fleishwirtschaft Inter.* 23(5), 73-76.
- Panea, B. D., Ripoll, G. R., 2019. Solubilidad del colágeno y textura de la carne bovina cocinada al vacío: efecto del tiempo de maduración y de la temperatura de cocinado. *ITEA*,

información técnica económica agraria: revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA), 115, 163-174.

Pearce N.K., Kinsella J.E., 1978. Emulsifying properties of proteins: evaluation of turbidimetric technique. *J. Agricul. Food Chem.* 26, 716-723.

Rakiat, N., 2008. Effect of pasture on meat composition and quality of buffalo meat. Master Thesis Department of Animal Science. Chiangmai University. Thailand.

Ribas-Agustí, A., Díaz, I., Sárraga, C., García-Regueiro, J. A., Castellari, M., 2019. Nutritional properties of organic and conventional beef meat at retail. *J. Sci. Food Agric.* 99, 4218-4225.

Sachindra, N.M., Sakhare, P. Z., Yashoda, K.P., Rao D.N., 2005. Microbial profile of buffalo sausage during processing and storage. *Food Control.* 16(1), 31-35.

Schilling, M.W., Pham, A.J. 2012. Sensory evaluation of muscle foods. En: *Handbook of Meat and Meat Processing*. Hui Y.H. (Ed.). CRC Press, Boca Raton FL. p.207.

Sompratana, Y., 2008. Meat quality and fatty acid composition of buffalo fed two difference of concentrate diet Master Thesis Department of Animal Science. Chiangmai University. Thailand.

Suman, S.P., Sharma, B. D., 2003. Effect of grind size and fat level on the physicochemical and sensory characteristics of low-fat ground buffalo meat patties. *Meat Sci.* 65(3), 973-976.

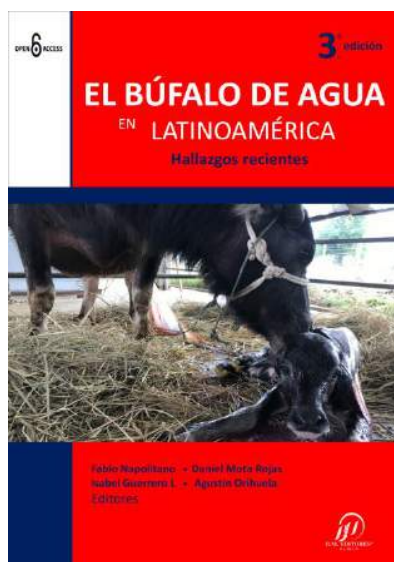
- Ugalde-Benítez, V., 2012. Meat emulsions. En: Handbook of Meat and Meat Processing. Hui Y.H. (Ed.). CRC Press, Boca Raton FL. p. 447.
- Uriyapongson, S., 2013. Buffalo and Buffalo Meat in Thailand. Buffalo Bull. 32 (Special Issue 1), 329-332
- Wagner, J.R., 2000. Propiedades superficiales. En: Caracterización Funcional y Estructural de Proteínas. Editorial Ceudeba, Buenos Aires.
- Ziauddine, K.S., Mahendrakar, N.S., Rao, D.N., Ramesh, B.S., Amla B.L., 1994. Observation on some chemical and physical characteristics of buffalo meat. Meat Sci. 37, 103 – 113.



CAPÍTULO 29

CALIDAD DE LA CARNE DE BÚFALO DE AGUA: ANÁLISIS NUTRICIONAL, SENSORIAL E INOCUIDAD, CONSERVACIÓN, EMPACADO Y AUTENTICIDAD

Rosy G. Cruz-Monterrosa, Daniel Mota-Rojas, Ayman Hassan Abd El-Aziz, Adolfo A. Rayas Amor, Mauricio David Díaz, Isabel Guerrero Legarreta, José Ángel Pérez-Álvarez, Efrén Ramírez-Bribiesca, Marcelo Daniel Ghezzi, Manuel Viuda-Martos, Juana Fernández-López, Marcelo R. Rosmini y Fabio Napolitano



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 29

Calidad de la carne de búfalo de agua: análisis nutricional, sensorial e inocuidad, conservación, empackado y autenticidad

Rosy G. Cruz-Monterrosa¹, Daniel Mota-Rojas², Ayman Hassan Abd El-Aziz³, Adolfo A. Rayas Amor¹, Mauricio David Díaz⁴, Isabel Guerrero Legarreta⁵, José Ángel Pérez-Álvarez⁶, Efrén Ramírez-Briebesca⁷, Marcelo Daniel Ghezzi⁴, Manuel Viuda-Martos⁶, Juana Fernández-López⁶, Marcelo R. Rosmini⁸ y Fabio Napolitano⁹

¹Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-L. Lerma. México.

²Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.

³Animal Husbandry and Animal Wealth Development Department. Faculty of Veterinary Medicine. Damanhour University, Damanhour, Egypt.

⁴Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

⁵Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-I. Ciudad de México. México.

⁶Departamento de Tecnología Agroalimentaria, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH), España.

⁷Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.

⁸Departamento de Salud Pública Veterinaria. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Litoral. Esperanza, Provincia de Santa Fe, Argentina.

⁹Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos en la actualidad es una tarea constante debido al crecimiento poblacional en 8 billones de personas que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha estimado para el año de 2030. Por lo tanto, a la par se incrementará el consumo *per cápita* de alimentos. Entre ellos, uno de los de mayor calidad nutricional es la carne, de igual manera,



incrementará su consumo en los países en desarrollo a una tasa del 2.1% (FAO, 2015). De ahí, es imprescindible tener presente que el nuevo desafío para el sector agropecuario, entre otros, será el incremento de la producción y mejorar la calidad de la carne. Ante estas nuevas circunstancias, los sistemas de ganadería tradicional no serán capaces de satisfacer las demandas cárnicas de la población y se tendrá que recurrir a la producción de nuevas especies animales, con mayor desempeño productivo y mayor rendimiento, sin menoscabo de la calidad nutricional de la carne. Una alternativa, con miras a cumplir los retos alimentarios, es la producción de búfalos de agua (*Bubalus bubalis*). En cuanto al producto final, la carne de esta especie se ha comparado con la del bovino tradicional, y al parecer tiene características que la hacen competitiva. Entre estas, la carne de búfalo presenta propiedades fisicoquímicas que la hacen más aceptable para el consumidor; es más roja, el contenido de proteína es mejor que la de la res (Robertson et al., 1983) y su mayor proporción de grasa poliinsaturada garantiza menor riesgo para la salud humana (Sharma et al., 1986; Guerrero Legarreta et al., 2019a,b,c,d,e; Cruz-Monterrosa et al., 2020; Guerrero Legarreta et al., 2020; Napolitano et al., 2020). La terneza de la carne de búfalo de agua es más aceptable que la de razas cruzadas con cebú (*Bos indicus*) (Neath et al., 2007b; Alarcón-Rojo et al., 2020). Sin embargo, aún no están bien dilucidadas las bondades de la producción de búfalos destinados al abasto de carne, así como las características nutricionales, fisicoquímicas y sanitarias del producto final; así como los factores antemortem y el

efecto del dolor durante la muerte (Mota-Rojas et al., 2020).

El objetivo de este capítulo es presentar algunas perspectivas de estudio de la carne de búfalo, desde la producción primaria hasta su comercialización. Se hace una comparación entre los sistemas ganaderos tradicionales que predominan en los países asiáticos, su intensificación en los sistemas de pastoreo inducido y en los corrales de engorde europeo y americano. Así mismo, se describen algunas áreas de oportunidad en el estudio de la producción del búfalo de agua para el abasto de carne, con ello se establecen las posibles líneas de investigación vinculadas con las unidades de producción e intercambio de experiencias con el sector ganadero, fortaleciendo y mejorando la producción y calidad de la carne de búfalo de agua con perspectivas a futuro, tomando en cuenta los eslabones de comercialización y las características propias de esta carne (nutricionales, sanitarias y comerciales). La carne es un producto de alto valor agregado, la calidad es también susceptible de fraudes, por ello, se abordan algunas metodologías aplicadas para validar la autenticidad de la carne de búfalo de agua.

ALIMENTACIÓN Y BIOQUÍMICA RUMINAL

La materia prima básica para la producción pecuaria es el alimento consumido y el mecanismo para aprovechar los nutrientes y su transformación en carne por parte de los animales (Angulo et al., 2005). En el caso de los búfalos, tienen alta capacidad para degradar

forrajes fibrosos, como pajas y residuos de la caña de azúcar, en comparación con el ganado bovino, ya que tienen una mayor longitud en el tubo intestinal (Merle et al., 2004, Bertoni et al., 2019a,b; 2020). Esto significa que los búfalos de agua pueden ser más eficientes en producir carne y leche, consumiendo residuos de cultivos y pastos. Sin embargo, cabe señalar que la eficiencia de producción bufalina puede ser baja, aunque factible desde el punto de vista económico. En términos generales, se menciona que los requerimientos del búfalo son de 0.24 kg de proteína digestible, 1.8 kg Nutrientes digestibles totales, 6.6 Mcal energía metabolizable (EM), 14 g Ca y 11 g P (Tauqir et al., 2011). Las raciones balanceadas que se han dado *ad-libitum* a los búfalos, pueden alcanzar un 75% de concentrado (Tauqir, 2011).

Las tasas de crecimiento dependen de la raza, el sistema de producción y la calidad de la dieta. Ejemplo, se han descrito ganancias de peso de 610 g/ día con una eficiencia de alimentación de 7:1 usando raciones integrales con un mínimo de 50% de concentrado (Hamid et al., 2016); el uso de raciones con trébol de Alejandría (*Trifolium alexandrinum*) dio ganancias de 370 g/día con una eficiencia de alimentación de 10:1 (Kandeepan et al., 2009). Sin embargo, en la alimentación de cualquier rumiante, los nutrientes que más influyen en la calidad de la canal y de la carne son los alimentos proteínicos y energéticos.

La cantidad de biomoléculas que aportan los alimentos, depende del

sistema de producción y la disponibilidad. Por ejemplo, los rumiantes alimentados con subproductos y pasturas de mala calidad, muestran bajos rendimientos en la canal, cuando se comparan con animales finalizados (engordados) con pasturas de buena calidad o en confinamiento. La energía y proteína de la dieta influyen en la terneza de la carne, el contenido de la grasa intramuscular y en el perfil de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) (Naveena y Kiran, 2014). De esta manera, el sistema intensivo es mejor en este aspecto nutricional, ya que se puede manipular el perfil de los ácidos grasos en la dieta y así mejorar la calidad de la carne. Sin embargo, se hace necesaria más investigación para profundizar el conocimiento del perfil de cada una de las razas de búfalos que puedan orientar al ganadero, sobre el mejor manejo alimenticio, con la finalidad de optimizar la calidad nutricional e instrumental de la carne.

Si bien se cuenta con guías de alimentación para rumiantes, como las tablas de la National Research Council (NRC), que proporcionan las necesidades de nutrientes relacionando el peso, la edad, la carga de trabajo y el estado reproductivo, los requerimientos para los búfalos no han sido suficientemente estudiados. Para los búfalos de agua, se están aplicando los criterios descritos en las tablas NRC para bovinos (2001; 2016). Sin duda, por las características de su sistema digestivo, hay diferencias nutricionales entre los bovinos del género *Bos* y los búfalos; por ejemplo, el requerimiento de proteína metabolizable es diferente entre estas especies, ya que la masa microbiana y las variables de fermentación en el rumen son más eficiente en los búfalos

a diferencia de los bovinos domésticos (Paul y Lal, 2010; Mendes y Lima, 2011; Kal et al., 2017). En un estudio realizado con becerros de búfalos de la raza Nili Ravi, se sugiere incluir en la dieta 14.2% de proteína y 2.24 Mcal EM/kg (Tauqir et al., 2011). Adicionalmente, la asociación entre los aminoácidos de la proteína microbiana y los del tejido muscular (correlación de 0.83, $P < 0.003$) (NRC, 2001) hace suponer que el búfalo es más eficiente para aportar proteína microbiana simbiótica y, en consecuencia será mayor el contenido de proteína en la carne. Esta es una excelente área de oportunidad para nuevas investigaciones debido a que este evento fisiológico no ha sido cuantificado en los búfalos de agua.

Con respecto a la cantidad y calidad de los ácidos grasos en la carne de búfalo, no se cuenta con suficiente información científica que fundamente el uso de ciertos suplementos de grasas o aceites, ni las cantidades conocidas de ácidos grasos poli-insaturados en las dietas proporcionadas a los búfalos, lo cual podría dar una orientación a la cuantificación de los ácidos grasos mono-poli-insaturados y la formación de ácido linoleico conjugado en la carne de búfalo.

ANÁLISIS NUTRICIONAL Y SENSORIAL

Las características principales de la carne de búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) la hacen atractiva para los consumidores en su color rojo intenso, un buen marmoleo, baja cantidad de tejido conjuntivo,

textura adecuada y mayor contenido de proteínas (Kandeepan et al. 2013). Desde el punto de vista industrial y comercial, hay una excelente capacidad de retención de agua y capacidad de emulsión. Los productores y comercializadores de búfalos de agua indican que la carne de este animal es la más sana y nutritiva, es baja en calorías y colesterol. Así mismo la literatura cita menor cantidad de grasa y, en consecuencia, representa un menor riesgo para el consumidor de padecer enfermedades cardiovasculares (Kandeepan et al., 2009; Giordano et al., 2010). Sin embargo, como con cualquier especie animal destinada al abasto de carne, la calidad de esta depende de varios factores asociados a la producción animal, como es el sistema de producción y la alimentación; los propios del animal, como la genética del animal, edad, sexo y raza; y el manejo *ante-mortem* (Soria y Corva, 2004).

Los búfalos suelen ser más delgados y contienen menos grasa subcutánea que la res, estas diferencias se debe en parte a la naturaleza del sistema de producción predominante para esta especie. En la zona de los Llanos de Colombia y Venezuela, en idénticas condiciones de cría, los búfalos de agua alcanzan un mayor peso al sacrificio que el ganado vacuno con cruce cebuino (435 a 512 kg y de 375 a 494 kg, respectivamente) (Merle et al., 2004), así mismo, la carne de búfalos longevos tiene un “sabor pobre”, mientras que la de los animales jóvenes (16 a 20 meses de edad) es magra, suave y con menos grasa. La carne de búfalo de agua contiene grasa de color entre

blanca y amarilla, dado por la cantidad de beta-caroteno (Hamid et al., 2016). A la fecha, no existe ningún estudio que indique las diferencias en el contenido de pigmentos en la grasa entre búfalos y reses, bajo un mismo sistema de producción.

Otro aspecto que no se ha documentado en los búfalos es el estrés que experimentan previo al sacrificio, ya que es fundamental por la influencia sobre la calidad de la carne (**Figura 1**).

La cría de los búfalos se lleva generalmente, en un sistema tradicional con muchas carencias tecnológicas y de infraestructura. Bajo esta perspectiva, es difícil reconocer el mejor desempeño y la calidad de la carne del búfalo de agua, en comparación con la de res. Por otro lado, los trabajos desarrollados para comparar los sistemas de producción bufalina y de vacuno, se han realizado en los sistemas de confinamiento, obteniendo interesantes conclusiones. Sin embargo, se debe resaltar que este sistema no es común en la cría de los búfalos, aunque los resultados obtenidos dan una idea más precisa en la calidad de carne de ambas especies.



Figura 1. Preparación de los búfalos de agua para el embarque y estabulación en potreros previo a su traslado a las salas de matanza (rastros). **A.** Animales arreados desde el potrero. **B y C.** Corral de retención o espera previo al embarque.

En la cadena productiva de los animales de abasto, el arreo es una práctica relevante que se caracteriza por las maniobras que el personal ejecuta para estimular su desplazamiento. En general, el arreo incluye la utilización de distintos elementos persuasivos y de prácticas, tales

como la aproximación de personas a pie o a caballo, el uso de arreadores eléctricos (picanas o bastones), perros que suelen estar mal adiestrados, gritos, silbidos, golpes con palos o tubos, patadas, torceduras de cola, entre otras (**Figura 2**). Algunos de estos métodos provocan diferentes grados de estrés, miedo e incluso dolor, lo que genera deterioro en el bienestar animal deficiencias en la calidad de las canales y de la carne.



Figura 2. Métodos de arreo. Arreo a caballo (A), arreo a pie (B).

Es frecuente observar las marcas dejadas por los elementos físicos de arreo, en forma de hemorragias o hematomas de variada extensión y profundidad. En las canales, la presencia de hematomas es un

indicador para evaluar el bienestar durante el manejo *ante-mortem* del ganado. Los hematomas pueden producirse en cualquier punto de la cadena productiva debido a un inadecuado manejo de los animales, ya sea en granja, ferias ganaderas, durante el embarque, transporte y desembarque en la planta de sacrificio, en los corrales de espera e incluso durante los procesos de aturdimiento.

En relación a la calidad de la carne, en un estudio realizado por Giordano et al. (2010) se compararon las características cualitativas del músculo *Longissimus* entre búfalos Murrah y novillos Nellore jóvenes, con una edad promedio de 21 meses y confinados durante 3.5 meses. Los resultados indicaron que las canales de búfalo, en comparación con las de res, obtuvieron mejores resultados en los rubros de rendimiento en canal de 52.1 Vs. 57.2%, respectivamente. La carne de búfalo de agua tuvo mayor cobertura de grasa (13.8 Vs. 8.1 mm), en consecuencia, menor pérdida por enfriamiento (1.3% Vs. 1.8%) y cocción (29.42 Vs. 31.31%), menor contenido de colágeno (4.81 Vs. 5.73%) y mayor humedad (75.13 Vs. 74.55%). La terneza y la proporción de ácidos grasos omega-6:omega-3, fueron similares en ambas especies. Las canales de búfalos tuvieron mejores rendimientos y calidad en los cortes de alto valor comercial. La carne de res tuvo más cantidad de ácidos grasos C12:0 y C14:0, relacionados con el aumento de lipoproteínas y colesterol; mientras que la carne de búfalo fue más alta en ácidos grasos C18:0 y el isómero del ácido linoleico (LA) el C18:1n9c. Este último ácido graso está asociado con la

prevención de enfermedades cardiovasculares en el hombre (Koba y Yanagita, 2014). La carne de búfalo de agua presenta un mayor contenido de ácido linoleico conjugado (CLA) y sus isómeros en la grasa intramuscular, que la carne de res. Estas diferencias, no dilucidadas aún, se deberían básicamente a las diferencias metabólicas y digestivas entre ambas especies (Guiffrida de Mendoza et al., 2005; Guerrero Legarreta et al., 2019b).

El CLA es considerado un ácido graso beneficioso para la salud humana por su efecto anticarcinógeno, antiobesidad, antihipertensivo y antidiabético (Koba y Yanagita, 2014), también se han descrito diferencias entre ambas canales. Guiffrida de Mendoza et al. (2005) mencionan que las comparaciones de extractos de lípidos de búfalos frente a bovinos mostraron que el contenido de CLA total fue de 1.83 frente a 1.47 mg/g en vacuno, la concentración de los isómeros de CLA (c9, t11) fue de 1.27 en búfalos frente a 1.01 mg/g en vacuno, y de los isómeros de CLA t10, c12 fueron de 0.56 en búfalo y 0,47 mg/g en vacuno, así como que la relación CLA/LA fue de 0.10 en búfalo frente a 0.07 en vacuno.

En el búfalo de agua, la mayor distribución lipídica es intermuscular, a diferencia del vacuno. Por lo tanto, la carne de búfalo presenta marmoleo escaso, tendiendo a ser más roja que la carne de res (Guiffrida de Mendoza et al., 2015). Hay también una ligera variación en la concentración de mioglobina en los búfalos más viejos, reflejando un color rojo más intenso en la carne (Kandeepan et al.,

2013). Teniendo en cuenta que la cantidad de grasa saturada y de ácidos grasos poliinsaturados fue mayor en la carne de búfalo que en la de res, era esperable que la oxidación lipídica fuera mayor en el músculo *Longissimus* del búfalo de agua en comparación con el de res.

El mayor contenido de hierro (de los hemopigmentos presentes, mioglobina, hemoglobina y citocromos) puede favorecer también el enranciamiento (por formación de radicales libres) de la carne y productos cárnicos (Faustman et al., 2010), pudiendo causar el deterioro sensorial (color, olor y sabor) y nutricional de los mismos (Di Luccia et al., 2003). Unas posibles líneas de investigación a futuro en los bufálos son la biohidrogenación ruminal y el suministro de antioxidantes en las dietas o directamente su inclusión en los empaques (biofilms) (Ruíz-Navajas et al., 2015) para mejorar la vida de anaquel, y mantener la calidad nutricional y sensorial de la carne.

En otros estudios realizados sobre la calidad de carne de búfalo se describen pocas diferencias en la actividad enzimática muscular de la calpastatina y las calpaínas 1, 2 (Nehath et al., 2007). Estas diferencias deben ser estudiadas con más detalle para la carne de búfalo, por ser indispensables en la transformación del músculo y su efecto en la terneza de la carne (Bosques et al., 2015). Referente a las características histológicas de la masa muscular del búfalo, Naruani et al. (2013) encontraron que el diámetro de la fibra muscular es afectado por la edad. Hasta 1.5 años de edad, el diámetro de la fibra

es de 37.37 μm , mientras que en los búfalos de más de 3 años, el diámetro es de 55 μm , aproximadamente. Sin embargo, el diámetro del fascículo, el grosor del tejido conectivo, el pH, la pérdida de cocción y la capacidad de retención de agua no se afectaron por el sexo y la edad (Naruani et al., 2013). Aunque existe la posibilidad de encontrar diferencias entre estas variables, debido a los cambios morfológicos y metabólicos que se van presentando cuando los animales van madurando o envejeciendo. Es necesario realizar más estudios con esta orientación para determinar los efectos en la terneza y calidad instrumental de la carne de búfalo (Guerrero Legarreta et al., 2019a,b,c,d,e; Cruz-Monterrosa et al., 2020; Guerrero Legarreta et al., 2020; Napolitano et al., 2020).

Los principales factores que afectan la calidad de la carne de búfalo son el sistema de cría (**Figura 3**), incluida la alimentación, la raza o el cruce genético y la edad de sacrificio. La edad del búfalo al rastro influye en el porcentaje de marmoleado y aderezo en la canal, mejorando la calidad de la carne cuando se sacrifica pasando los 2 años. La composición de la canal también está determinada por el sistema de producción, ya sea por pastoreo o confinamiento con suplementos.



Figura 3. Búfalos de agua de engorde en sistema de pastoreo rotacional en el trópico húmedo latinoamericano.

INOCUIDAD, CONSERVACIÓN Y EMPACADO

La carne y los productos cárnicos se ubican dentro de los alimentos con mayor riesgo de descomposición por ser un medio idóneo para el crecimiento de microorganismos alterantes que pueden enmascarar la contaminación de la microbiota patógena, causante de enfermedades de origen alimentario a los consumidores. Los procesos de contaminación microbiana en la carne fresca se inician desde la unidad de producción, el transporte, los rastros o mataderos, el despiece y el envasado de la carne. La principal microbiota contaminante de la carne, independientemente de la especie animal de la cual proceda, son los que proceden de las vías intestinales, respiratorias y la materia

fecal, así como los propios de los rastros y sitios de procesamiento de la carne, tales como *Pseudomonas* spp., *Acinetobacter* spp., *Brochothrix thermosphacta* (Aminzare, et al., 2016), *Clostridium* spp., *Carnobacterium* spp., *Leuconostoc carnosum*, *Leuconostoc gelidum*, *Lactobacillus sake*, *Lactobacillus curvatus*, y otros lactobacilos atípicos o no identificados, *Enterococcus* spp., *Serratia liquifaciens*, *Hafnia* spp., *Proteus* spp. y otras cepas de la familia *Enterobacteriaceae* (Hernández-Maceda et al., 2011; Aminzare et al., 2016). Para reducir la microbiota contaminante en las canales de búfalo se han implementado varios métodos, entre otros, la aplicación de soluciones de ácido láctico (2 a 4%), la cual reduce la carga de anaerobios sin demeritar los atributos sensoriales como sabor, olor y aceptabilidad general en la carne fresca (Manzoor et al., 2020).

La conservación y el empaque de la carne de búfalo, como la de cualquier especie, es una prioridad que debe llevarse a cabo para mantener la inocuidad y una apariencia visual atractiva para el consumidor. En primera instancia, se evalúa el color y la apariencia en general, y estas son percibidas cuando la carne está empacada; después de retirar el empaque se evalúan las características como el olor, el sabor y la textura.

El perfil microbiológico de los productos cárnicos es uno de los criterios clave para determinar la calidad y la seguridad de los productos frescos. De aquí que los patógenos bacterianos

identificados con mayor frecuencia en la carne o sus productos son *Salmonella* sp., *Campylobacter*, *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* O157: H7. Otros patógenos que pueden desarrollarse en la carne son *Pseudomonas* sp., *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, *Bacillus cereus* y *Vibrio parahaemolyticus* (Biswas et al., 2008; Voloski et al., 2016). En la carne de búfalo de agua se han identificado y cuantificado bacterias coliformes, *Staphylococcus* spp. (Hamid et al., 2016) y *Campylobacter* spp.; la presencia de esta última, puede deberse a una contaminación cruzada durante la evisceración y técnicas deficientes de higiene durante el despiece de las canales, deshuesado y transporte hacia pequeñas carnicerías, donde existen carnes de otras especies. *Campylobacter jejuni* es un patógeno con alta prevalencia en la carne (Rahimi et al., 2013) y para reducir su presencia se recomienda la vacunación y tratamientos antimicrobianos recomendados por la Organización Mundial de la Salud.

Las diarreas en humanos causadas por *Campylobacter* spp en varios países asiáticos y latinoamericanos se atribuyen a las malas prácticas de producción y obtención, tanto de la carne de búfalo de agua, como la de res. En este sentido se hace necesario implementar prácticas o manuales de manejo higiénico apropiados para reducir o eliminar los riesgos de contaminación en la cadena alimentaria. Un estudio realizado en Irán con carne cruda (Rahimi et al., 2013) se evaluó la resistencia antimicrobiana a *Campylobacter* spp. en muestras de

camello, res y búfalo de agua. *Campylobacter jejuni* fue el microorganismo presente con la mayor frecuencia (77.4%), seguido de *Campylobacter coli* (22.6%). Otro riesgo latente para la población humana es la resistencia de los microorganismos contaminantes de la carne a los antibióticos. Rahimi et al., (2013) indicó, en este mismo estudio, que la resistencia a diferentes fármacos variaba en un rango comprendido entre el 26 al 87%.

En los países europeos, la carne de búfalo se considera como un “alimento alternativo” por sus buenas características nutricionales y de inocuidad. Los estudios realizados en la carne de búfalo se han enfocado en conservar la calidad comercial del producto y en determinar las mejores prácticas durante su preparación culinaria. Un estudio realizado por Juárez et al. (2010) evaluó la influencia de tres métodos de cocción (cocción, asado y fritura) sobre la composición química y lipídica de la carne de búfalo. Todos los tratamientos redujeron la humedad y aumentaron el contenido de proteínas, cenizas y grasas. El aumento de grasa fue mayor cuando la carne fue frita con aceite de oliva. El contenido de grasas saturadas disminuyó cuando se utilizó el aceite de oliva en la fritura, ya que este aceite es rico en ácido oleico (C18:1, ácido graso monoinsaturado). Además, la incorporación de aceite causó una disminución en el contenido de CLA. Sin embargo, tras la fritura, esta carne tuvo mayores concentraciones de ácidos grasos *trans*, los cuales están considerados como no saludables. Es por ello que su preparación culinaria a través

de la fritura quizás sea el método menos adecuado para mantener la calidad nutritiva de la carne de búfalo. Sin embargo, desde un punto de vista químico, la fritura es el mejor método para evitar un incremento de las sustancias que provocan el enranciamiento.

Con respecto a la vida de anaquel (vida útil) de la carne de búfalo de agua, hasta la realización de esta revisión, no se encontraron investigaciones científicas que den cuenta de la vida de anaquel, en fresco, bajo diferentes tipos de empaque usados para su comercialización. No así en productos cárnicos que usan esta carne en su formulación (Sachindra et al., 2005; Kandeepan et al., 2011), ya que no hay estudios sobre la vida útil de la carne envasada, se sugiere el desarrollo de estudios sobre empaque inteligentes que incremente la vida de anaquel, evaluando la producción de aminos biogénicos.

Para disminuir el deterioro de la carne, independientemente de la especie de abasto, las investigaciones que se han llevado a cabo se han centrado en retardar la oxidación de los lípidos. Con este fin se ha aplicado el ácido carnósico (AC), procedente del romero (*Rosmarinus officinalis*). Este ácido inhibe la oxidación de lípidos en carne cruda o procesada de búfalo y pollo. Naveena et al. (2013) indicaron que la dosis de 22.5 mg/kg de AC es eficaz para inhibir la oxidación lipídica evitando la alteración del color durante la refrigeración. Desde un punto de vista industrial, los estudios de Tateo et al. (2007) indican que la carne de búfalo (razas europeas) es más apta para la congelación por periodos prolongados que las carnes de res. También

Rey et al. (2011) mencionan que los productos cárnicos elaborados a partir de carne de búfalo (razas americanas) tienen una mayor aceptabilidad por el consumidor que los de res.

DEMANDA Y MERCADO

Los principales países productores de carne de búfalo en el mundo son la India (49%), Pakistan (25%) y China (10%) (Lantican et al., 2017). En el caso del continente americano, Brasil, Venezuela, Colombia, Costa Rica, Cuba y México han mostrado un interés creciente en la cría de búfalos en los últimos 15 años. Los productores atribuyen el incremento en la crianza de los búfalos a sus capacidades adaptativas en condiciones edafo-climáticas que son adversas a las requeridas por los bovinos y otros rumiantes. Sin embargo, si se requiere la producción de carne de calidad competitiva con la de otras especies, a los búfalos se le deben suministrar forrajes y cereales de buena calidad que cubran sus requerimientos nutricionales y, con ello, obtener el máximo vigor genético en las ganancias de peso. Sin embargo, los estudios de viabilidad económica, para el caso de producción de carne bufalina, son limitados y aún más, existe poca infraestructura pecuaria consolidada que desarrollen estudios de mercado en la leche y carne de búfalo a nivel mundial (Bertoni et al., 2019a,b; 2020; Guerrero Legarreta et al., 2019a,b,c,d,e; Cruz-Monterrosa et al., 2020; Guerrero Legarreta et al., 2020; Napolitano et al., 2020). Un ejemplo de integración en la cadena productiva y la factibilidad económica de la

carne de búfalo en Filipinas ha sido analizado por Lantican et al. (2017).

La cadena de valor de la carne está constituida por 7 eslabones participativos, estos son: a) los proveedores de insumos, b) los ganaderos, c) los agentes técnicos y administrativos, d) los comerciantes del ganado, e) los distribuidores de la carne, mayoristas y minoristas, f) los procesadores de carne en mayoreo y g) los procesadores de carne en menudeo.

Los resultados del análisis de costos y rendimiento en las granjas evaluadas en Filipinas indican ingresos netos positivos a los ganaderos, principalmente por la venta de búfalos. Pero los mayores egresos son por alimentación y mano de obra. Sin embargo, la mejor ganancia financiera por cada kilogramo de carne de búfalo en fresco fue de 60% para los comerciantes minoristas, en comparación con los ganaderos, en donde fue del 15%. En el caso de carne procesada por empresas como la existente en Filipinas (TAPA), estas tuvieron ganancias de un 50-60%, mientras que para los minoristas sólo fue del 30% (Lantican et al. 2017). De este estudio se destaca que los ganaderos tienen menores ganancias y las limitaciones para ello están relacionadas con el costo de los forrajes y concentrados, problemas de suministro de agua, falta de tecnologías en los engordes (feedlot), deficiente mejoramiento genético, problemas de fertilidad, falta de apoyos crediticios, limitaciones de consultores o expertos, irregularidad del suministro de carne a los comerciantes minoristas, pobre implementación de tecnologías para el empackado y etiquetado de la

carne, así como una deficiente promoción de la carne (Lantican et al. 2017). Sin embargo, faltan estudios similares para conocer si uno de los factores que podrían incrementar la aceptación y el consumo de la carne de búfalo debería ser el incremento en los apoyos gubernamentales o privados destinados a la producción primaria, debido a la creciente demanda de los países altamente consumidores (Bertoni et al., 2019a,b; 2020).

Otro factor limitante para la adquisición de la carne de búfalo es el precio de mercado. En el caso de Europa y América Latina, la carne de búfalo se comercializa en lugares focalizados, donde el turismo o un núcleo de la sociedad de nivel económico medio a alto, tiene capacidad de adquirirla. Generalmente, el precio de la carne de búfalo varía entre un 5 hasta un 20% más que la carne de res. Generalmente, el precio de la carne de búfalo varía entre un 5 hasta un 20% más cara que la carne de res. Al respecto, un estudio de factibilidad en búfalos en pastoreo en América Latina, realizado por Díaz-Gutiérrez et al. (2009) en el cual se aplicó la metodología de presupuesto de capital, flujos de caja nominales, indicadores de rentabilidad financiera con tasa interna de retorno, valor actual neto, relación costo/beneficio, y período de recuperación de la inversión, concluyeron que el sistema de producción de búfalo evaluado no resultó rentable para el productor. Estos investigadores sugieren implementar programas de mejoramiento genético de los animales y factibilidades amplias de mercado en la leche y carne, que originen una demanda de los productos de búfalo e incrementen el retorno de inversión.

AUTENTICIDAD: TÉCNICAS MOLECULARES EN LA CARNE

Actualmente el consumo de carne de búfalo está centrado en los países asiáticos, mientras en Europa, la mayoría de la carne consumida proviene de importaciones de terceros países. Sin embargo, siendo un producto que su consumo va al alza, es también susceptible de ser adulterado, como cualquier otro producto de alto valor económico, ya sea por sustitución, por agregación o por suplantación de etiquetas. Por ejemplo, en la India, la carne de búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) a menudo se adultera con carne de ovejas, debido a su menor costo y fácil disponibilidad. Aunque también la carne de ganado *Bos indicus* es adulterada con la carne de búfalo para adquirir mejor precio durante la exportación (Mane et al., 2012). Bajo esta premisa se han realizado diferentes estudios con el propósito de implementar técnicas moleculares que identifiquen la adulteración de la carne de res o de búfalo de agua. La carne de búfalo asiática es de buena a regular calidad, debido a que siendo animales no genéticamente seleccionados, sus características dependen más del sistema de producción o del tipo de animales destinados a la matanza (búfalos emaciados, enfermos o longevos). Este es el tipo de carne que se utiliza para adulterar la carne de res fresca o procesada (Hamid et al., 2016).

Ante este tipo de fraudes, se han empleado técnicas modernas como la proteómica que utiliza biomarcadores peptídicos específicos que son capaces de proporcionar información sobre las especies animales

contenidas o mezcladas en la carne (Kiran et al., 2016). Otros estudios han reportado detecciones menores al 1% de carne usada como adulterante a través de la separación de proteínas en forma líquida. En estas metodologías se usa como un factor determinante el valor de pH isoeléctrico de las proteínas, utilizando para ello electroforesis OFFGEL e identificación de proteínas por cromatografía líquida-espectrometría de masas en tándem (LC-MS / MS) (Sentandreu y Sentandreu, 2014). El método utiliza péptidos específicos de especie, derivados de la cadena ligera de miosina 1 y la cadena ligera de miosina 2 para detección de la carne de búfalo. La técnica proteómica acoplada con electroforesis OFFGEL está asociada a los métodos basados en la detección de ADN. De hecho, la técnica de PCR- polimerasa se ha desarrollado con las técnicas de amplificación aleatoria de ADN polimórfico (RAPD-PCR; Wang *et al.*, 2019), polimorfismo de longitud de fragmento de restricción de PCR (PCRFLP; Girish et al., 2013) y un primer específico para búfalo con la estructura: Forward: 5'CTG CAA CCATCA ACA CAC CTA AC 3'; Reverse: 5'CGG CCA TAG CTG AGT CCA AG 3', basado en el Gen mitocondrial de ADN - bucle D para la amplificación del ADN en muestras de razas de búfalos Murrah, Toda, Panderpuri, Badawari, Surati y Nili-Ravi (Mane et al., 2012). Como la evidencia señala, hay gran avance en la determinación del genoma de búfalo y su uso también puede representar una herramienta diagnóstica a futuro, indicando la calidad y autenticidad en la carne proveniente de la cría de búfalos jóvenes que pueden alcanzar su máximo desarrollo a corto tiempo.

CONSIDERACIONES FINALES

El mercado de la carne del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) es un gran reto para los productores e investigadores y debe ser abordado multi e interdisciplinariamente para que se consideren a detalle todos los puntos de la cadena productiva. Entre los principales aspectos que se deben retroalimentar a los ganaderos en la producción primaria se encuentran:

- a) Identificar el mejor sistema de producción, en cuanto a rentabilidad, para alcanzar el desempeño productivo y las características competitivas de la canal del búfalo.
- b) Generar dietas que cubran los requerimientos nutricionales propios de los búfalos y permitan la adecuada proporción proteína-grasa en la carne, así como las características instrumentales que repercutan en la calidad de la carne.
- c) Sugerir métodos de conservación y empaque apropiados para la carne de búfalo durante su comercialización.
- d) Implementar metodologías novedosas para la detección de adulteración en la carne de búfalo.

REFERENCIAS

Alarcón-Rojo, A., Mota-Rojas, D., García-Galicia, I., Cruz-Monterrosa, R., Ramírez-Bribiesca, E., Olmos-Hernández, A., Guerrero Legarreta, I., 2020. Dark cutting in river buffalo: Effect of management and environmental factors. *Agro Productividad* 13, 93-98. <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1927>

- Aminzare, M., Hashemi, M., Hassanzad Azar, H., Hejazi, J., 2016. The Use of Herbal Extracts and Essential Oils as a Potential Antimicrobial in Meat and Meat Products: A Review. *J. Hum. Environ. Health Promot.* 1, 63-74. <https://doi.org/10.29252/jhehp.1.2.63>
- Angulo, R.A., Noguera, R.R., Berdugo, J.A., 2005. El búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) un eficiente utilizador de nutrientes: aspectos sobre fermentación y digestión ruminal. *Livest. Res. Rural Dev.* 17, 67-71. <http://www.lrrd.org/lrrd17/6/angu17067.html>
- Benitez, D., Cetrá, B., Florin-Christensen, M., 2012. Rhipicephalus (Boophilus) microplus ticks can complete their life cycle on the water buffalo (*Bubalus bubalis*). *J. Buffalo Sci.* 1, 193-7. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2012.01.02.11>
- Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Morales-Canela, A., Orozco-Corrales, C., Mota-Rojas, D., 2019a. Capítulo 7. Los sistemas de producción de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico. In Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. (Ed.). *El búfalo de agua en las Américas* (2da. Eds.). México. BM Editores.
- Bertoni, A., Álvarez, A., Mota-Rojas, D., 2019b. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. *Soc. Rur. Prod. Med. Amb.* 19 (38), 59-80.
- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutiérrez, J., Legarreta, I.G.-, 2020a. Similarities and Differences between

River Buffaloes and Cattle : Health , Physiological , Behavioral and Productivity Aspects. J. Buffalo Sci. 9, 92-109. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.12>

Biswas, A.K., Kondaiah, N., Bheilegaonkar, K.N., Anjaneyulu, A.S., Mendiratta, S.K., Jana, C., Singh, H., Kumar, R.R., 2008. Microbial profiles of frozen trimmings and silver sides prepared at Indian buffalo meat packing plants. Meat Sci. 80, 418-422. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.01.004>

Bosques, J., Pagán-Morales, M., Casas, A., Rivera, A., Cianzio, D., 2015. Segregation of polymorphisms in μ -calpain and calpastatin in beef cattle in Puerto Rico. J. Agr. Univ. Puerto Rico 99, 105-116. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v99i2.3026>

Cruz-Monterrosa, R.G., Mota-Rojas, D., Ramírez-Bribiesca, E., Mora-Medina P., Guerrero Legarreta I., 2020. Scientific findings on the quality of river buffalo meat and it's prospects for future studies. J. Buffalo Sci. 9, 170-180. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.18>

Desta, T., 2012. Introduction of domestic buffalo (*Bubalus bubalis*) into Ethiopia would be feasible. Renew. Agr. Food Syst. 27, 305-313. <https://doi.org/10.1017/S1742170511000366>

Di Luccia, A., Satriani, A., Barone, C.M.A., Colatruglio, P., Gigli, S., Occidente, M., Trivellone, E., Zullo, A., Matassino, D., 2003. Effect of dietary energy content on the intramuscular fat depots and triglyceride composition of river buffalo meat.

- Meat Sci. 65, 1379–1389. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00060-3)
- FAO. 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Fund for Agricultural Development, World Food Programme. The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: Taking Stock of Uneven Progress. FAO. <http://www.fao.org/publications/sofi/2015/en/>
- FAO. 2019. Sustainable Development Goals (SDG). End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture. <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/news/detail-news/en/c/424259/>
- FAO. 2020. Livestock systems. <http://www.fao.org/livestock-systems/global-distributions/buffaloes/en/>
- Faustman, C., Yin, S., Tatiyaborworntham, N., Naveena, B.M., 2010. Oxidation and protection of red meat. Part1. In: E. Decker, R. Elias, and D.J. McClements, (Eds), Oxidation in foods and beverages and antioxidant applications: Management in different industry sectors. Volume 2. Woodhead Publishers, Cambridge, UK. p. 3–49.
- Fundora, O., Roque, R., Sánchez, R., 2001. Datos preliminares de la conducta alimentaria de búfalos de río en pastoreo. Cuban J. Agr. Sci. 35, 15-17. ISSN 0034-7485
- Giordano, G., Guarini, P., Ferrari, P., Biondi-Zoccai, G., Schiavone, B., Giordano, A., 2010 Beneficial impact on cardiovascular risk

profile of water buffalo meat consumption. Eur. J. Clin. Nutr. 64, 1000–1006. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2010.108>

Girish, P.S., Haunshi, S., Vaithiyanathan, S., Rajitha, R., Ramakrishna, C., 2013. A rapid method for authentication of Buffalo (*Bubalus bubalis*) meat by Alkaline Lysis method of DNA extraction and species-specific polymerase chain reaction. J. Food. Sci. Technol. 50, 141-146. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0230-6>

Giuffrida de Mendoza, M., Arenas de Moreno, L., Huerta-Leidenz, N., Uzcategui-Bracho, S., Beriain M.J., Smith, G. C., 2005. Occurrence of conjugated linoleic acid in *longissimus dorsi* muscle of water buffalo (*Bubalus bubalis*) and zebu-type cattle raised under savannah conditions. Meat Sci. 69, 93-100. <https://doi:10.1016/j.meatsci.2004.06.008>

Giuffrida-Mendoza, M., Arenas de Moreno, L., Huerta-Leidenz, N., Uzcategui-Bracho, S., Valero-Leal, K., Romero, S., Rodas-González, A., 2015. Cholesterol and fatty acid composition of longissimus thoracis from water buffalo (*Bubalus bubalis*) and Brahman-influenced cattle raised under savannah conditions. Meat Sci. 106, 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.03.024>

Giuffrida-Mendoza, M., Arenas-Moreno, L., Huerta-Leidenz N, Uzcátegui-Bracho S, Hamid MA, Siddiky MNA, Rahman MA, Hossain KM., 2016. Scopes and opportunities of buffalo

farming in Bangladesh a review. SAARC J. Agri. 14, 63-77.
<https://doi.org/10.3329/sja.v14i2.31246>

Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R., Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J., 2019a. The Water Buffalo: versatile, rustic and sustainable as a meat producer (In spanish). Agro Meat. Buenos Aires, Argentina. 2019. Febrero: 1-10.

Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R., Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J., 2019a. The river Buffalo: versatile, rustic and sustainable as a meat producer (In spanish). Agro Meat. Buenos Aires, Argentina. 2019. Febrero: 1-10.

Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. 2019b. El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales. Segunda edición. México, Editorial BM Editores. Enero, 2019. Ciudad de México. p.p. 1-881.
<https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Guerrero Legarreta, I., Rosmini, R., Mota-Rojas, D., Fernández-López, J., Cruz-Monterrosa, R., Pérez-Álvarez, J.A., 2019c. Capítulo 22. Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua. En: Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., & Orihuela, A. (Ed.), El búfalo de agua en las Américas. México. BM Editores.

Guerrero Legarreta, I., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Bertoni, A.,

Álvarez-Macías, A., 2019d. Capítulo 6. El búfalo de agua productor de carne por el mundo: indicadores productivos y sanitarios. En Guerrero Legarreta, I. et al. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (192-224), Segunda edición. México, BM Editores. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Guerrero Legarreta, I., Strappini, A., Mota-Rojas, D., García, I., Ramírez, B.E., Ghezzi, D.M, Cruz-Monterrosa, R., Lázaro de la Torre, C. Mora-Medina, P., Olmos, A.; Lemus, F.C., Gutiérrez, Q., Olvera, L., Flores, P.S., Alarcón-Rojo, A., 2019e. Capítulo 21. Manejo previo a la muerte y calidad de la carne del búfalo. En: Guerrero Legarreta, I.; Napolitano, F.; Mota-Rojas, D.; Orihuela, A. (Eds.). El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales (p. 714-758), Segunda edición. México, BM Editores. México. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Cruz-Monterrosa, R., Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Ramírez-Bribiesca, E., Bertoni, A., Berdugo-Gutiérrez, J., & Braghieri, A., 2020. River buffalo meat production and quality: sustainability, productivity, nutritional and sensory properties. J. Buffalo Sci. 9, 159-169. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2020.09.17>

- Hamid, M.A., Zaman, M.A., Rahman, A., Hossain, K.M., 2017. Buffalo Genetic Resources and their Conservation in Bangladesh. *Res. J. Vet. Sci.* 10, 1-13. <https://doi.org/10.3923/rjvs.2017.1.13>
- Hernández-Macedo, M. L., Barancelli, G. V., Contreras-Castillo, C. J., 2011. Microbial deterioration of vacuum-packaged chilled beef cuts and techniques for microbiota detection and characterization: a review. *Braz. J. Microbiol.* 42, 1-11. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822011000100001>
- Iqbal, A., Mirza, M.A., Raza, S.H., 2007. Role of Buffaloe in contributing milk and meat in Pakistan. *Ital. J. Anim. Sci.* 6, 1387-1389, <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.1387>
- Juárez, M., Failla, S., Ficco, A., Peña, F., Avilés, C., Polvillo, O., 2010. Buffalo meat composition as affected by different cooking methods. *Food Bioprod. Proce.* 88, 145-148. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2009.05.001>
- Kala, A., Kamra, D.N., Kumar, A., Agarwal, N., Chaudhar, L.C., Joshi, C.G., 2017. Impact of levels of total digestible nutrients on microbiome, enzyme profile and degradation of feeds in buffalo rumen. *PLoS ONE* 12: e0172051. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172051>.
- Kandeepan, G., Biswas, S., Rajkumar, R.S., 2009. Buffalo as a potential food animal. *Int. J. Livest. Prod.* 1, 001-005. <http://www.academicjournals.org/IJFA>
- Kandeepan, G., Anjaneyulu, A.S.R., Kondaiah, N., Mendiratta, S.K., 2011. Comparison of quality attributes of buffalo meat curry at

- different storage temperature. *Acta Scient. Pol. Technol. Aliment.* 10, 83-95
- Kandeeppan, G., Mendiratta, S.K., Shukla, V., Vishnura, M.R., 2013. Processing characteristics of buffalo meat- a review. *J. Meat Sci. Technol.* 1: 1-9.
- Kiran, M., Naveena, B.M., Reddy, K.S., Shahikumar, M., Reddy, V.R., Kulkarni, V., Rapole, S., More, T.H., 2015. Muscle-specific variation in buffalo (*Bubalus bubalis*) meat texture: biochemical, ultrastructural and proteome characterization. *J. Texture Stud.* 46, 254–261. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jtxs.12123>
- Kiran, M., Naveena, B.M., Reddy, K.S., Shahikumar, M., Reddy, V.R., Kulkarni, V., Rapole, S., More, T.H., 2016. Understanding tenderness variability and ageing changes in buffalo meat: biochemical, ultrastructural and proteome characterization. *Animal.* 10, 1007–1015. <https://doi.org/10.1017/S1751731115002931>
- Koba, K., Yanagita, T., 2011. Health benefits of conjugated linoleic acid (CLA). *Obesity Res. & Clin. Pract.* 8, e525—e532. <http://dx.doi.org/10.1016/j.orcp.2013.10.001>
- Landi, N., Di Giuseppe, A.M.A., Ragucci, S., Di Maro, A., 2016. Free amino acid profile of *Bubalus bubalis* L. meat from the Campania region. *Rev Brasil Zootec* 45: 627-31. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-92902016001000008>

- Lantican, F.A., Molina, M.C., Lapitan, J.E., Padrid, J.C., Suñaz, E.C., Cañizares, A.R., Lantican, J. A., Loise Ann M. Carandang, L.A., 2017. Buffalo Meat Value Chain Analysis in Luzon, Philippines. Department of Agriculture. Philippine Carabao Center. 2017. Searca. p.121. ISBN 978-971-560-186-3
- Maharana, B.R., Kumar, B., Prasad, A, Patbandhan, T.K., Sudhakar, N.R., Joseph, J.P., Patel, B.R., 2016. Prevalence and assessment of risk factors for haemoprotozoan infections in cattle and buffaloes of South–West Gujarat, India. *Indian J. Anim. Res.* 50, 733-739. [http://dx.doi.org/ 10.18805/ijar.10268](http://dx.doi.org/10.18805/ijar.10268)
- Mane, B.G., Mendiratta, S.K., Tiwari, A.K., Bhilegaokar, K.N., 2012. Detection of adulteration of meat and meat products with buffalo meat employing polymerase chain reaction assay. *Food Anal. Met.* 5, 296–300. <https://doi.org/10.1007/s12161-011-9237-x>
- Manzoor, A., HayatJaspal, M., Yaqub, T., UlHaq, A., Nasir,, J., Avais, M., Ashar, B., Badar I. H., Ahmad, S., Yar, M. K., 2020. Effect of lactic acid spray on microbial and quality parameters of buffalo meat. *Meat Sci.* 159:107923. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107923>
- Marai, I.F.M., Haezeb, A.A.M., 2009. Buffalo's biological functions as affected by heat stress - A review. *Livest. Sci.* 127, 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.08.001>

- McCool, C. 1992. Buffalo and Bali cattle—Exploiting their reproductive behaviour and physiology. *Trop Anim Health Prod.* 24, 165–172. <https://doi.org/10.1007/BF02359609>
- Mendes, A.J., Lima, F., 2011. Aspectos nutricionales del búfalo. *Tecnología en Marcha, SeDAFP y Universidad Popular de la Chontalpa.* 516, 105-120.
- Merle, S., Sencleer, J., Rodas-Gonzalez, A., Gonzalez, J., Mansutti, D., Huerta-Leidenz, N. 2004. Comparación de machos enteros búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) vs vacunos acebuados en características al sacrificio, de la canal, rendimiento carnicero y palatabilidad del *longissimus*. *Arch. Lat. Prod. An.* 12, 112-120
- Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Strappini, A., Orihuela, A., Ghezzi, M., Hernández, A.I., Mora-Medina, P., Whittaker, A., 2020. Pain at the slaughterhouse in ruminants with a focus on the neurobiology of sensitisation. *Animals*, 11, 1085. <https://doi.org/10.3390/ani11041085>
- Muñoz-Berrocal, M., Tonhati, H., Cerón-Muñoz, M., Duarte, J.M.C., Chabariberi, R.L., 2005. Uso de modelos lineares e não lineares para o estudo da curva de lactação em Búfalos Murrah e seus mestiços em sistema de criação semi extensivo, no Estado de São Paulo. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 13, 19-23. <http://hdl.handle.net/1807/7083>
- Nampanya, S., Young, J., Khounsy, S., Bush, R., Windsor, P., 2014. The food security challenge for the buffalo meat industry:

perspectives from Lao PDR. J. Buffalo Sci. 3: 38-47.
<http://dx.doi.org/10.6000/1927-520X.2014.03.02.2>.

Napolitano, F.; Mota-Rojas, D.; Guerrero Legarreta, I.; Orihuela, A. The Latin American river buffalo, recent findings. In spanish: El búfalo de agua latinoamericano, hallazgos recientes. 3a edición; BM Editores press. Mexico city, Mexico, 2020; pp. 1-1558. <https://www.researchgate.net/profile/Fabio-Napolitano-2/research>

Naveena, B.M., Mendiratta, S.K., Anjaneyulu, A.S.R., 2004. Tenderization of buffalo meat using plant protease from *Cucumis trigonus ruxb* (Kachri) and *Zingiber officinale roscoe* (Ginger rhizome). Meat Sci 68, 363–369.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.04.004>

Naveena, B.M., Kiran, M., Sudhakar Reddy, K., Ramkrishna, C., Vaithiyanathan, S., Devatkal, S.K., 2011. Effect of ammonium hydroxide on ultrastructure and tenderness of buffalo meat. Meat Sci 88, 727–732.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.03.005>

Naveena, B.M., Vaithiyanathan, S., Muthukumar, M., Sen, A.R., Praveen-Kumar, Y., Kiran, M., Shaju, V.A., Ramesh Chandran, K., 2013. Relationship between the solubility, dosage and antioxidant capacity of carnosic acid in raw and cooked ground buffalo meat patties and chicken patties. Meat Sci. 95, 195-202. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.043>

- Naveena, B.M., Kiran, M., 2014. Buffalo meat quality, composition, and processing characteristics: contribution to the global economy and nutritional security. *Anim. Frontiers*. 4, 18-24. <https://doi.org/10.2527/af.2014-0029>
- Neath, K.E., Del Barrio, A.N., Lapitan, R.M., Herrera, J.R., Fujihara, T., Muroya, S., Hirabayashi, K., Kanai, Y., 2007. Protease activity higher in postmortem water buffalo meat than Brahman beef. *Meat Sci*. 77, 389-96. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.04.010>
- Neath, K.E., Del Barrio, A.N., Lapitan, R.M., Herrera, J.R.V., Fujihara, T., Muroya, S., Chikuni, K., Hirabayashi, K., Kanai, Y., Neath, K., Barrio, a. m., Herrera, J., Cruz, L., 2007. Difference in tenderness and pH decline between water buffalo meat and beef during postmortem aging. *Meat Sci*. 75, 499-505. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.08.016>
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. National Academies Press, Washington, DC2001
- NRC. 2016. *Nutrient Requirements of Beef Cattle* 8th ed. National Academies Press, Washington, DC2016.
- Nuraini, H., Mahmudah, A., Winarto, A., Sumantri, C., 2013. Histomorphology and Physical Characteristics of Buffalo Meat at Different Sex and Age. *Media Peternakan*, 4, 6-13. <https://doi.org/10.5398/medpet.2013.36.1.6>

- Ordovas, J.M., Ferguson, L.R., Tai, E.S., Mathers, J.C., 2018. Personalised nutrition and health. BMJ 361, bmj.k2173. <https://doi.org/10.1136/bmj.k2173>
- Paul, S.S., Lal, D., 2010. Nutrient requirements of buffaloes Azadpur-Dellhi: Satish Serial Publishing House. 137. ISBN 10: 8189304763
- Paul, S.S., Das, K.S., 2012. Prediction of body weight from linear body measurements in Nili-ravi buffalo calves. J. Buffalo Sci. 1, 32-4. <http://dx.doi.org/10.6000/1927-520X.2012.01.01.06>
- Rahimi, E., Ameri, M., Alimoradi, M., Chakeri, A., Bahrami, A.R., 2013. Prevalence and antimicrobial resistance of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* isolated from raw camel, beef, and water buffalo meat in Iran. Com. Clin. Path. 22, 467-473. <https://doi.org/10.1007/s00580-012-1434-5>.
- Rey, J.F., Martínez, C.L., Urrea, A., 2011. Evaluation of sensory characteristics and texture of an economic Buffalo meat (*Bubalus bubalis*) sausage and an economic beef (*Bos indicus*) sausage with addition of bovine hemoglobin powder International Congress on Engineering and Food (ICEF11). Procedia Food Sci. 1, 545 – 548
- Robertson, J., Bouton, P.E., Harris, P.V., Shorthose, W.R., Ratcliff, D., 1983. A comparison of some properties of beef and buffalo (*Bubalus bubalis*) meat. J. Food Sci. 48, 686-690. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb14876.x>

- Romero, S.D., Pérez de León, A.A., 2014. Bubalinocultura en México: retos de industria pecuaria naciente. Logros y Desafíos de la Ganadería Doble Propósito 6, 15.
- Ruiz-Navajas, Y., Viuda-Martos, M., Barber, X., Perez-Alvarez, J.A., Fernández-López, J. 2015. Effect of chitosan edible films added with *Thymus moroderi* and *Thymus piperella* essential oil on shelf-life of cooked cured ham. J Food Sci. Technol. 52, 6493-6501. <https://doi-org.publicaciones.umh.es/10.1007/s13197-015-1733-3>.
- Sachindra, N.M., Sakhare, P.Z., Yashoda, K.P., Narasimha Rao, D. 2005. Microbial profile of buffalo sausage during processing and storage. Food Cont. 16, 31-35. <https://10.1016/j.foodcont.2003.11.002>
- Sarkar, S., Hossain, M., Amin, M., 2013. Socio-economic status of buffalo farmers and the management practices of buffaloes in selected areas of Bagerhat District of Bangladesh. Bangladesh J. Anim. Sci. 42, 158-164. <https://doi.org/10.3329/bjas.v42i2.18505>
- Sentandreu, M.Á., Sentandreu, E., 2014. Authenticity of meat products I: tools against fraud. Food Res. Inter. 60, 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.030>
- Sharma, N., Gandemer, G., Goutefongea, R., Kowale, B.N., 1986. Fatty acid composition of water buffalo meat. Meat Sci. 16, 237-243. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(86\)90029-X](https://doi.org/10.1016/0309-1740(86)90029-X)

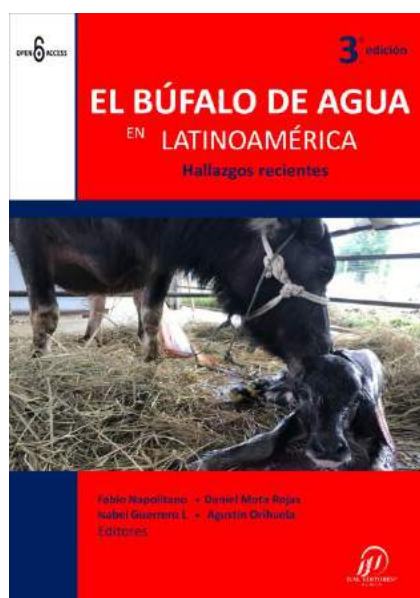
- Soria, L.A., Corva, P.M., 2004. Factores genéticos y ambientales que determinan la terneza de la carne bovina. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 12, 73-88. ISBN 1022-1301. <http://www.bioline.org.br/request?la04010>
- Tamburrano, A., Tavazzi, B., Maria Callà, C.A., Amorini, A.M., Lazzarino, G., Vincenti, S., Zottola, T., Campagna, M.C., Moscato, U., Laurenti, P., 2019. Biochemical and nutritional characteristics of buffalo meat and potential implications on human health for a personalized nutrition. Ital. J. Food. Saf. 8, 174-179. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2019.8317>
- Tauqir, N.A., Shahzad, M.A., Nisa, M., Sarwar, M., Fayyaz, M., Tipu, M.A., 2011. Response of growing buffalo calves to various energy and protein concentrations. Livest. Sci. 137, 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.10.003>
- USDA, 2015. National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28.
- Voloski, F.L.S., Tonello, L., Ramires, T., Reta, G.G., Dewes, C., Iglesias, M., Mondadori, R.G., Gandra, E.A., da Silva W.P., Duval. E.H., 2016. Influence of cutting and deboning operations on the microbiological quality and shelf life of buffalo meat. Meat Sci. 116, 207-212. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.020>
- Wang, L., Hang, X., Geng, R., 2019. Molecular detection of adulteration in commercial buffalo meat products by multiplex PCR assay. Food Sci. Technol. 39, 344-348. <https://doi.org/10.1590/fst.28717>



CAPÍTULO 30

PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE LA LECHE DE BÚFALA

César Lázaro de la Torre, Isabel Guerrero Legarreta, Fabio Napolitano,
Francesco Serrapica, Rosy G. Cruz Monterrosa y Daniel Mota-Rojas



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3ª. Edición

CAPÍTULO 30

Propiedades fisicoquímicas de la leche de búfala

César Lázaro de la Torre¹, Isabel Guerrero Legarreta², Fabio Napolitano³, Francesco Serrapica⁴, Rosy G. Cruz Monterrosa⁵ y Daniel Mota-Rojas⁶

¹Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

²Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-I. Ciudad de México. México.

³Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

⁴Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici, Naples, Italia.

⁵Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-L. Lerma. México.

⁶Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.

INTRODUCCIÓN

El presente capítulo tiene como finalidad brindar información sobre las propiedades fisicoquímicas de la leche de búfala (*Bubalus bubalis*); para esto se han recopilado diversos reportes, resaltando los presentados en los últimos 10 años. En cuanto a los componentes químicos, se pueden destacar el agua, las grasas, las proteínas, los carbohidratos, los minerales y las vitaminas; mientras que relacionados con las propiedades físicas, se destacan la viscosidad, el punto de congelación y la gravedad específica. Asimismo, estas propiedades pueden variar de acuerdo con diversas condiciones que van desde la forma de crianza, la genética, el clima, la alimentación. De la forma que algunos de estos parámetros son utilizados como métodos de control, depende la calidad de la leche de búfala.

Propiedades fisicoquímicas de la leche de búfala | BM EDITORES



La composición de la leche ayuda a entender su valor nutricional, su aptitud para ser utilizado en la elaboración de derivados e, inclusive, para la verificación de la calidad. En el caso de la leche de búfala de agua, se puede decir que presenta diferencias cuando se compara con la leche de vaca (término general para la leche de vaca doméstica del género *Bos*). Las características fisicoquímicas y sensoriales de la leche de búfala permiten reconocerla fácilmente de la leche producida por otras especies. Presenta un sabor ligeramente dulce y un color más blanquecino (ausencia de β -caroteno) que la leche de vaca.

Otra característica importante es que posee menos agua y más materia seca que la vaca (*Bos*), esto hace que los componentes como grasa, proteína, lactosa y sólidos totales se encuentren en un porcentaje mayor, lo que hace que tenga mejor desempeño cuando se usa para elaborar derivados lácteos (Oliveira et al., 2009). Es así que con apenas 5 litros de leche de búfala de agua se puede obtener 1 kg de queso mozzarella de alta calidad (Teixeira et al., 2005). Algunas de estas características sumadas a su elevada cantidad de vitamina A y reducido contenido de colesterol la hacen factible como materia prima ventajosa para la elaboración de algunos derivados lácteos ya que tendrían un mejor rendimiento. Además, debido a que posee 58% más calcio, 35% más proteínas y 20% menos colesterol que la leche de vaca, se considera como un producto que aporta nutrientes (Abd El-Salam y El-Shibiny, 2011; Zava y Sansinena, 2017).

Los altos niveles de sólidos en la leche de búfala no solo la hacen ideal para su procesamiento y transformación en derivados lácteos, también economizan ciertos procesos tecnológicos. Así, al elaborar yogurt o queso no es necesario adicionar proteínas lácteas o agentes gelificantes para obtener un producto espeso o cremoso.

Por estos motivos los productores de lácteos prefieren usar leche de búfala para obtener alimentos como el queso mozzarella (Ahmad et al., 2013). A continuación presentamos algunas de estas propiedades, resaltando la información de la que se dispone en diversas partes del mundo y comparándola con la leche de vaca doméstica del género *Bos* (Guerrero Legarreta et al., 2019; Napolitano et al., 2020).

CONSTITUYENTES QUÍMICOS

Comparado con la leche de bovino del género *Bos*, la leche de búfala de agua se destaca por su alto nivel de grasa, proteínas y lactosa. Es interesante ver que las variaciones en los constituyentes químicos entre los diversos países (**Figura 1**).

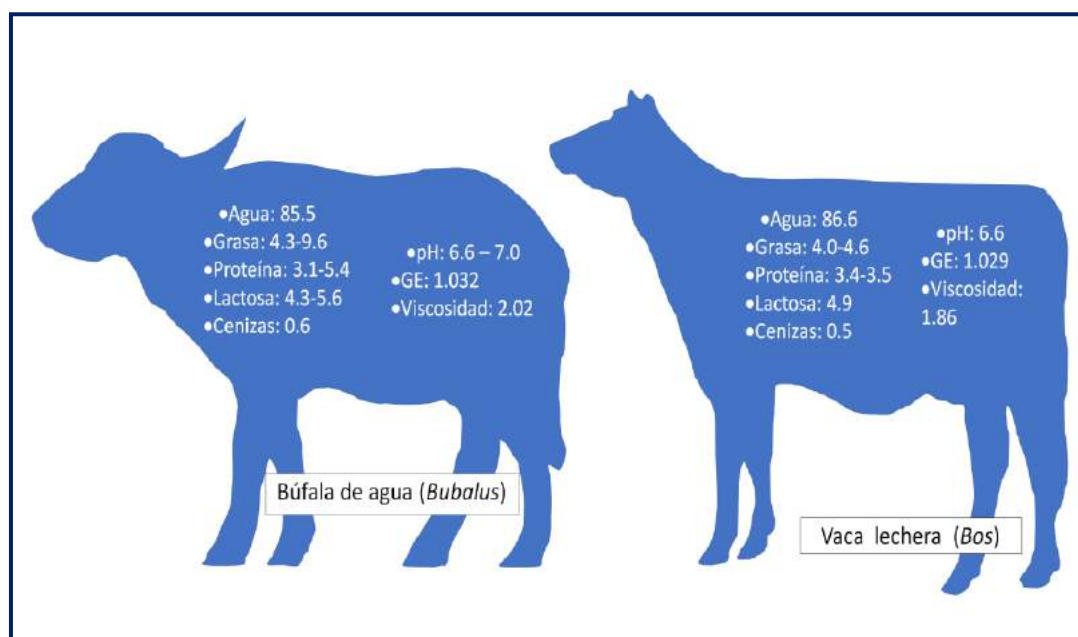


Figura 1. Comparación de las propiedades físico-químicas de la leche de búfala¹ Vs. la leche de vaca². Valore de agua, grasa, proteína, lactosa y cenizas expresadas en porcentaje (%); GE (Gravedad específica tomada a 20°C); valor de viscosidad expresada centipoise (cP). ¹Referencias tomadas de cuadros 1 y 2. ²Referencias de Kailasapathy (2016) y Mucchetti y Zambrini (2017).

Según Murtaza et al. (2017) a nivel mundial la crianza de búfalos se centraliza en India; sin embargo, países como Italia y Brasil también cuentan con una producción significativa en Europa y América respectivamente (**Figura 2**). Es en América donde se ha desarrollado centros de producción lechero en diversos países como Brasil, Argentina y Colombia; sin embargo, la leche de búfala y sus derivados aun no gozan de la preferencia del consumidor, muchas veces por el desconocimiento de los beneficios nutricionales, por el hecho de la resistencia a probar productos nuevos, o simplemente porque la mayoría de los consumidores no cuentan con acceso a estos productos, limitándose a un consumo local (Silva et al., 2019). A lo

largo de los años se ha realizado una serie de investigaciones destinados a dar a conocer la composición fisicoquímica de la leche de búfala.



Figura 2. Variación de los principales componentes químicos de la leche de búfala de agua en Brasil (Sales et al., 2018), China (Zhou et al., 2018), Egipto (Elshaghabee et al., 2017), India (Yoganandi et al., 2014b) e Italia (Pasquini et al., 2018). Valores expresados en porcentaje (%).

En los **cuadros 1 y 2** se muestra la variación entre 2011 y 2020 en las concentraciones de los componentes. Esto se puede explicar debido a que existen múltiples factores que pueden influenciar la composición de la leche, como el medio ambiente, la forma de crianza, la genética,

y la alimentación, entre otros. Para citar un ejemplo, Johansson et al. (2019) observaron semanalmente un incremento en el pH (0.9%), la lactosa (2.3%) y la α -lactoglobulina (4.3%) y una reducción de las proteínas (5.6%) las primeras seis semanas post-parto en búfalas criadas en Suecia, esto debe ser tomado en cuenta durante el procesamiento de los diferentes productos derivados para garantizar una adecuada utilización de la leche. A continuación se mencionará algunos datos de los componentes más importantes, tomando como base el promedio de los valores presentados en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Composición físico-química de la leche de búfala entre los años 2011 y 2015*

	2011	2012	2013	2014	2015
Agua (%)	ND	ND	ND	86.5	ND
Grasa (%)	6.6-8.8	6.6-8.0	7.0	4.3-5.4	6.2-7.7
Lactosa (%)	4.5-5.2	4.5-4.7	4.2	4.3-4.8	5.0-5.6
Proteínas totales (%)	3.8-4.5	4.6-5.4	4.4	3.1-4.2	4.1-4.5
Caseína (%)	ND	ND	ND	ND	ND
Sólidos totales (%)	16.3-21.3	16.4-18.5	16.4	12.5-15.4	16.2-17.2
Cenizas (%)	0.7-0.9	0.9	0.7	ND	ND
Ca (mg/100g)	ND	102.1- 205.9	ND	ND	97-121
Densidad (15°C)	ND	ND	ND	1.029	ND
pH	ND	6.8-7.0	6.6	6.7	ND

*Referencias usadas por año: 2011 (Abd El-Salam y El-Shibiny, 2011), 2012 (Han et al., 2012), 2013 (Gürler et al., 2013), 2014 (Lima et al., 2014; Pignata et al., 2014), 2015 (Hamad, 2015; Vidu et al., 2015).

Agua

El agua es el mayor componente de la leche de búfala (85.5%), en este medio están dispersos los constituyentes de la leche; sin embargo, cuando es comparada con la leche bovina (86.6%) se nota un menor porcentaje de agua. Esto indica que la leche de búfala contiene mayor cantidad de sólidos totales. La remoción del agua de la leche para la elaboración de derivados lácteos concentrados o secos incrementa el tiempo de conservación de este producto; de forma similar en la elaboración del queso, parte del agua de la leche es removida quedándose en el suero (Kailasapathy, 2016).

Cuadro 2. Composición físico-química de la leche de búfala entre los años 2016 y 2020*

	2016	2017	2018	2019	2020
Agua (%)	ND	84.5	ND	ND	85.6
Grasa (%)	6.0-7.2	6.0-9.6	5.7-7.1	6.6-7.5	6.0 - 6.4
Lactosa (%)	4.8-5.2	4.9-5.0	4.8-5.2	4.4-5.2	4.2-5.4
Proteínas totales (%)	4.2-4.9	4.0-4.6	3.5-4.4	4.1-5.4	2.8-4.6
Caseína (%)	3.6	2.8-4.2	2.7-3.3	3.3-4.5	ND
Sólidos totales (%)	ND	9.9-16.0	15.6	ND	14.4-16.6
Cenizas (%)	ND	0.8	ND	ND	ND
Ca (mg/100g)	70-191	180-240	ND	157-166	ND
Densidad (15°C)	1.029	1.031- 1.034	1.031- 1.035	ND	1.014- 1.037
pH	ND	6.6-6.8	6.3-6.9	6.4-6.9	ND

*Referencias usadas por año: 2016 (Alichanidis et al., 2016; Sahin y Ulutas, 2016), 2017 (Bailone et al., 2017; Zava y Sansinena, 2017), 2018 (Pasquini et al., 2018; Sales et al., 2018), 2019 (Johansson et al., 2019) y 2020 (Becskei et al., 2020; Regmi et al., 2020).

Grasa

La grasa, la cual está en concentraciones de entre 4.3-9.6% en la leche de búfala, es el constituyente que presenta un mayor valor económico ya que es utilizada en la elaboración de derivados como el queso. Teixeira et al. (2005) mencionaron que, debido a que la leche de búfala contiene un alto nivel de grasa, son necesarios apenas 14 litros de leche para producir 1 kg de mantequilla, mientras que para obtener la misma cantidad con leche de vaca se necesitan 20 litros. La cantidad y tipo de lípidos contribuye con un sabor característico de la leche de búfala. Debido a que contiene una variedad de triglicéridos y poca cantidad de sustancias liposolubles como colesterol, vitamina A, D y α -tocoferol, presenta un sabor único que es preferido en países como la India (Zava y Sansinena, 2017). En una recopilación de Bilal et al. (2006) se puede comprobar que la leche de búfala tiene menor cantidad de colesterol (8 mg/100 mg) cuando se compararon con leche bovina, caprina y ovina (14, 11 y 10 mg/100 mg, respectivamente).

Estudios realizados por Zava y Sansinena (2017) reportan que la leche de búfala es rica en ácido butírico y ácidos grasos de cadena larga como el palmítico y esteárico. Estas características le confieren resistencia a la oxidación. Por otro lado, Vidu et al. (2015) encontraron que los ácidos palmítico y oleico eran los más abundantes. Pignata et al. (2014) encontraron que los ácidos oleico, mirístico y esteárico son

los más abundantes. Otro atributo que se puede resaltar es que la leche de búfalo es rica en ácido linoleico conjugado (CLA, por sus siglas en inglés) el cual pertenece al grupo de ácidos grasos polinsaturados (PUFA, por sus siglas en inglés) los cuales son benéficos para la salud humana, ya que se les atribuyen efectos antiadipogénicos, antidiabetogénicos, anticarcinogénicos y propiedades antiateroesclerosis (Han et al., 2012).



Figura 3. A pesar de tener mayor contenido de sólidos grasos, las concentraciones de fosfolípidos y de colesterol de la leche de búfala son 40% más bajas que la de vaca del género *Bos* (López Alvarez, 2013).

En diversas investigaciones se evidenciaron variaciones en los valores físicoquímicos debido principalmente a los diferentes sistemas de crianza, época del año y tipo de alimentación. Un ejemplo es reportado por Santillo et al. (2016), quienes observaron un incremento del ácido linolénico debido a la adición de linaza en la dieta de las búfalas. Por otro lado Oliveira et al. (2009), encontraron que la adición de aceite de soya en la dieta de búfalas incremento el porcentaje de grasa de 8.7% a 9.4% y casi doblaron los valores de CLA.

A pesar que los altos niveles de grasa en le leche de búfala, esto no necesariamente es una condición deseable para la elaboración de algunos productos. Akgun et al. (2016) determinaron que una cantidad de 3% de grasa en la leche de búfala es la más adecuada para la elaboración de yogurt para que sea aceptado por los consumidores, debido a esto es necesario estandarizar la cantidad de grasa.

Proteínas

Los niveles de proteína en la leche de búfala varían entre 3.1 y 5.4%. El mayor componente proteico de esta leche es la caseína en sus formas αS_1 , β y κ ; estas proteínas hacen que el proceso de coagulación enzimática sea más rápido y requiera menor cantidad de enzimas (quimosina) para la elaboración de queso.

Comparada con la leche de vaca del género *Bos*, las proteínas encontradas en la leche de búfala de agua presentan un mayor tamaño de las micelas de caseína. Según Arora y Khetra (2017) estas micelas tienen un tamaño entre 110 y 160 nm, mientras que para Zava y Sansinena (2017) podrían ser entre 80 y 250 nm. En ambos casos superan el tamaño de las micelas en leche bovina (70 a 110 nm). La caseína es ampliamente utilizada en la industria de alimentos por sus propiedades físicoquímicas, nutricionales y funcionales, así como su capacidad ser hidrolizadas enzimáticamente, emulsificarse y gelar. (Shazly et al., 2017)

Existen también evidencias que algunos péptidos derivados de la caseína pueden tener efectos en la prevención de la osteoporosis. Reddi et al. (2019) demostraron que el péptido NAVPITPTL, derivado de la caseína exhibe efectos osteopénicos en ratas ovariectomizadas debido a la estabilización del proceso de remodelación del hueso e inhibición de la expresión de citoquinas que reabsorben el hueso. Estos resultados son importantes y pueden ser benéficos contra la osteoporosis post-menopáusica. Además, su alto contenido de lactoferrina lo permite inhibir algunas bacterias (Zava y Sansinena, 2017)

Carbohidratos

La leche de búfala contiene entre 4.3 a 5.6% de lactosa. Este es un disacárido compuesto de glucosa y galactosa el cual está relacionado con el valor nutritivo, además de la textura y solubilidad, y desempeñando un papel fundamental en el sabor de los productos derivados. Es importante en el proceso de acidificación. Factores como la mastitis pueden reducir los niveles de lactosa debido al daño que se produce en la glándula mamaria (Sharif et al., 2009). Por otro lado, el ácido láctico, producto de la transformación de la lactosa por la acción de ciertos microorganismos, contribuye con el desarrollo de acidez en la leche. Murtaza et al. (2017) y Yoganandi et al. (2014a) reportaron valores medios de ácido láctico en leche de búfala de 0.13%, mientras que Kailasapathy (2016) reportó 0.15%. Otros elementos de importancia son los oligosacáridos encontrados en la leche de los rumiantes, estos funcionan como moduladores del crecimiento de la flora intestinal, el cual actúa como agente protector frente a infecciones bacterianas y virales. La leche de búfala contiene 0.1g/L, solo superado por la leche de cabra que contiene 0.25-0.3 g/L (Alichanidis et al., 2016).

Minerales

Singh et al. (2019) evaluaron el contenido de minerales en leche de búfala e identificaron que a diferencia de la leche de vaca, esta tenía

un elevado contenido de Ca, P y Mg. Asimismo, identificaron que el potasio era el mineral más bajo. La literatura científica reporta que estos valores van desde 97 a 240 mg/100g. Según la recopilación llevada a cabo por Alichanidis et al. (2016), otros componentes minerales importantes son fósforo (67-293 mg/100 g), potasio (92-178 mg/100 g), magnesio (2-39 mg/100 g), sodio (16-95 mg/100 g), cloro (57-106 mg/100 g), hierro (0.04-1.30 mg/100 g), zinc (0.07-0.73 mg/100 g) y cobre (0.02-0.35 mg/100 g). Tal vez el mineral de mayor importancia en la leche de búfala sea el calcio. Debido a estos datos, la leche de búfala y productos derivados de esta podrían ser recomendados para pacientes con osteoporosis y otras condiciones donde se requiera este mineral (Figueiredo et al., 2010). La mayor proporción de calcio (67-82%) se encuentra en la forma insoluble, debido al alto contenido de caseína (Ahmad et al., 2013).

Vitaminas

Con respecto a las vitaminas, se puede destacar el alto nivel de vitamina A, presente en un intervalo de 29 a 190 µg/100 g de leche, debido a la eficiencia del búfalo de convertir los carotenoides en vitamina A (Abd El-Salam y El-Shibiny, 2011; Alichanidis et al., 2016). La ausencia de β-caroteno es una característica propia de la leche de búfala que puede ser utilizada para diferenciarla de la leche bovina. Ullah et al. (2017) demostraron que el β-caroteno podría ser utilizado

como un biomarcador para diferenciar leche de búfala por medio de espectroscopia Raman.

La vitamina C está presente en concentraciones entre 0.7 y 3 mg/100 g, a diferencia de concentraciones de 0 a 2 mg/100 g en la leche de vaca. Uno de los beneficios de la leche es su funcionalidad, en ese sentido la vitamina C es apreciada por su capacidad antioxidante; sin embargo, es necesario tomar en cuenta que someter a la leche de búfala a temperaturas de pasteurización y de ebullición reducen sustancialmente los niveles de vitamina C (42 y 61% respectivamente) (Khan et al., 2017).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las propiedades físicas de la leche son similares a las del agua, pero modificadas por varios solutos (proteínas, lactosa, grasa, minerales, entre otros). La información sobre las características físicas influye el diseño y operación de los equipos empleados en la industria láctea, sobre todo en los procesos térmicos. Por otro lado, las características físicas pueden ser usadas para determinar variaciones en las concentraciones de diversos componentes. A sí, el punto de congelamiento es empleado para determinar la adición de agua; y la gravedad específica para determinar los sólidos no grasos. También consideran para monitorear cambios bioquímicos durante el procesamiento, como el incremento de la acidez (Fox et al., 2015).

Propiedades reológicas (Viscosidad)

La viscosidad de la leche de búfala de agua es superior a la de la leche de vaca, debido a su mayor contenido de grasa. Es así que Yoganandi et al. (2014a) determinaron 1.79 y 1.55 cP para la viscosidad de leche de búfala de agua y vaca, respectivamente, mientras que Kailasapathy (2016) reportó 2.04 cP para la leche de búfala, y Prajapati et al. (2017) encontraron valores de 1.79 cP. Sin embargo, esta característica depende del contenido graso de la leche. Esto indica que, de ser necesaria la estandarización de la cantidad de grasa en la leche, la viscosidad podría modificarse (Abd El-Salam y El-Shibiny, 2011). Otros factores que determinan la variación de la viscosidad están relacionados con el parto, donde se obtuvo 6.80 cP posparto (calostro) *versus* 1.64 cP al sexto día del parto (leche normal). Asimismo, patologías como la mastitis incrementan la viscosidad (Khedkar et al., 2016).

Punto de congelación

El punto de congelación depende de la cantidad de sólidos disueltos en la leche. Yoganandi et al. (2014a) encontraron que las variaciones en el punto de congelación de la leche de búfala y de vaca eran mínimas, con -0.54°C y 0.53°C , respectivamente. Por otro lado, Khedkar et al. (2016) encontraron que el punto de congelación de la leche de búfala podría ir de -0.518°C a -0.590°C , pudiendo tener

variaciones debido a climas cálidos y fríos (-0.528 a 0.531°C , respectivamente), granjas pequeñas y grandes (-0.532 a 0.519°C , respectivamente) y granjas orgánicas y convencionales (-0.526 a 0.537°C , respectivamente). Sin embargo, recientemente Prajapati et al. (2017) determinaron que el punto de congelación está entre -0.584 y -0.532°C , mientras que Zava y Sansinena (2017) determinaron que la temperatura a la que alcanza la congelación la leche de búfala es -0.544°C . Por lo tanto, de -0.53°C y menos se puede considerar como leche alterada. Esta característica puede ser usada como indicador de la adición de agua en la leche de búfala.

Gravedad específica

La gravedad específica de la leche de búfala es 1.032, reportado por Zava y Sansinena (2017). Sin embargo, se ha encontrado en la literatura científica variaciones como las presentadas por Kailasapathy (2016), Murtaza et al., (2017) y Zava y Sansinena (2017) quienes mencionaron una gravedad específica de 1.031, así como Prajapati et al. (2017) y Yoganandi et al. (2014a) que presentaron valores de 1.033. Según Ramya et al. (2016) dos puntos importantes para determinar la adulteración de la leche de búfala son las variaciones en el porcentaje de grasa y la densidad. Según este estudio que compararon muestras de leche de búfala proveniente de la misma granja y centro de procesamiento que tuvieron valores estándares para estas dos variables, comparadas con muestras provenientes del comercio formal

y ambulatorio, como resultado de la adición de agua y/o leche parcialmente descremada bovina.

Otras características físicas son la tensión superficial, que varía entre 49.84 y 55.40 dinas/cm; índice de refracción con intervalos de 1.3420 a 1.3464, y conductividad eléctrica de 4.65 a 6.69 mmho (Ahmad et al., 2013; Kailasapathy, 2016; Prajapati et al., 2017; Yoganandi et al., 2014a).

CONSIDERACIONES FINALES

Con base a los datos recolectados, se puede decir que, si bien las propiedades fisicoquímicas de la leche de búfala la hacen un producto que puede ser fácilmente discriminado de la leche bovina, se puede encontrar variaciones en estos valores, los cuales están asociados al tipo de crianza, alimentación y genética. La leche de búfala posee niveles altos de grasa, lactosa, proteínas, calcio y vitamina A. Asimismo, tiene bajos niveles de colesterol. Es necesario tomar en cuenta que la composición de la leche de búfala debe ser evaluada, sobre todo para su uso en la elaboración de productos derivados, como el queso mozzarella, ya que los cambios en sus propiedades fisicoquímicas pueden determinar la calidad final de estos productos.

REFERENCIAS

- Abd El-Salam, M.H., El-Shibiny, S., 2011. A comprehensive review on the composition and properties of buffalo milk. *Dairy. Sci. Technol.* 91(6), 663–699. <https://doi.org/10.1007/s13594-011-0029-2>
- Ahmad, S., Anjum, F.M., Huma, N., Sameen, A., Zahoor, T., 2013. Composition and physico-chemical characteristics of buffalo milk with particular emphasis on lipids, proteins, minerals, enzymes and vitamins. *J. Anim. Plant. Sci.* 23, 62–74.
- Akgun, A., Yazici, F., Gulec, H.A., 2016. Effect of reduced fat content on the physicochemical and microbiological properties of buffalo milk yoghurt. *Food. Sci. Technol-Leb.* 74, 521–527. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.015>
- Alichanidis, E., Moatsou, G., Polychroniadou, A., 2016. Composition and properties of non-cow milk and products. In E. Tsakalidou & K. B. T.-N.-B. M. and M. P. Papadimitriou (Eds.), *Non-bovine milk and milk products*. Academic Press, pp. 81–116.
- Arora, S., Khetra, Y., 2017. Buffalo milk cheese. In M. Hofi (Ed.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, 4th ed, Academic Press, pp. 1093–1101.
- Bailone, R.L., Borra, R.C., Roça, R. de O., de Aguiar, L., Harris, M., 2017. Quality of refrigerated raw milk from buffalo cows (*bubalus bubalis bubalis*) in different farms and seasons in Brazil. *Cienc.*

- Anim. Bras. 18(1), 1–12. <https://doi.org/10.1590/1089-6891v18e-41815>
- Becskei, Z., Savić, M., Ćirković, D., Rašeta, M., Puvača, N., Pajić, M., Dordević, S., Paskaš, S., 2020. Assessment of water buffalo milk and traditional milk products in a sustainable production system. Sustainability (Switzerland). 12 (16), 1–13. <https://doi.org/10.3390/su12166616>
- Bilal, M.Q., Suleman, M., Raziq, A., 2006. Buffalo : Black gold of Pakistan Buffalo : Black gold of Pakistan. Livestock Research for Rural Development. 18(9), 1–15.
- Elshaghabe, F.M.F., Abdel-Hamid, M.I., Walte, H.G., 2017. A Survey on Selected Quality Parameters of Buffalo Milk Samples Collected from Consumer Markets of Three Different Central Governorates in Egypt. Milchwissenschaft. 70, 25–29.
- Figueiredo, E.L., Júnior, J.D.B.L., Toro, M.J.U., 2010. Caracterização Físico-Química E Microbiológica Do Leite De Búfala “in Natura” Produzido No Estado Do Pará. R. Bras. Tecnol. Agroindustr. 4(1), 19–28. <https://doi.org/10.3895/s1981-36862010000100003>
- Fox, P.F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P.L.H., O’Mahony, J.A., 2015. Physical Properties of Milk. In P. F. Fox, T. Uniacke-Lowe, P. L. H. McSweeney, & J. A. O’Mahony (Eds.), Dairy Chemistry and Biochemistry, Springer International Publishing, pp. 321–343.
- Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. 2019. El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y

experimentales. Segunda edición. México, Editorial BM Editores. Enero, 2019. Ciudad de México. p.p. 1-881.
<https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

- Gürler, Z., Kuyucuoğlu, Y., Pamuk, Ş., 2013. Chemical and microbiological quality of Anatolian Buffalo milk. *Afr. J. Microbiol. Res.* 7(16), 1512–1517.
<https://doi.org/10.5897/ajmr12.1014>
- Hamad, M.N.F., El-Moghazy, M. M., 2015. Influence of sex and calf weight on milk yield and some chemical composition in the Egyptian buffalo's. *J. Vet. Sci.* 2(3), 22-27.
- Han, X., Lee, F.L., Zhang, L., Guo, M.R., 2012. Chemical composition of water buffalo milk and its low-fat symbiotic yogurt development. *Funct. Food. Health. Dis.* 2(4), 86.
<https://doi.org/10.31989/ffhd.v2i4.96>
- Johansson, M., Lundh, Å., Sivananthawerl, T., Sjaunja, K.S., 2019. Composition and Coagulation Properties of Buffalo Milk Produced Under Swedish Conditions; Changes Taking Place During the First Weeks of Lactation. *Dairy and Vet Sci J.* 13(3): 555885. <https://doi.org/10.19080/JDVS.2019.14.555885>
- Kailasapathy, K., 2016. Chemical Composition, Physical, and Functional Properties of Milk and Milk Ingredients. In R. C. Chandan, A. Kilara, & N. P. Shah (Eds.), *Dairy Processing and Quality Assurance*, 2nd ed., John Wiley & Sons Ltd, pp. 77-105.

- Khan, I.T., Nadeem, M., Imran, M., Ayaz, M., Ajmal, M., Ellahi, M.Y., Khalique, A., 2017. Antioxidant capacity and fatty acids characterization of heat treated cow and buffalo milk. *Lipids. Health. Dis.* 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0553-z>
- Khedkar, C.D., Kalyankar, S.D., Deosarkar, S.S., 2016. Buffalo Milk. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. B. T.-E. of F. and H. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health*, Academic Press, pp. 522–528.
- Lima, T.C.C., Rangel, A.H.N., Macêdo, C.D.S., Araújo, T.P.M., Araújo, V.M., Júnior, D.M. de L., Murmann, L., Novaes, L.P., 2014. Composição e qualidade do leite e do soro do leite de búfalas no estado do rio grande do norte. *Acta Veterinaria Brasilica*, 8(1), 25–30.
- López Álvarez, J., 2013. Perspectivas de la crianza del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) en la Amazonía Ecuatoriana. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 2(1), 19–30.
- Mucchetti, G., Zambrini, A.V., 2017. Milk Quality and Processing. In F. Conto (Ed.), *Advances in Dairy Products*, John Wiley & Sons Ltd, pp. 1–20.
- Murtaza, M.A., Pandya, A.J., Khan, M.M.H., 2017. Buffalo milk utilization for dairy products. In Y. W. Park, G. F. W. Haenlein, & W. L. Wendorff (Eds.), *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals*, 2nd ed., Wiley-Blackwell, pp. 284–342.

- Murtaza, M. A., Pandya, A. J., Khan, M. M. H., 2017. Buffalo Milk Production. In Y. W. Park, G. F. W. Haenlein, & W. L. Wendorff (Eds.), Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals, 2nd ed., Wiley-Blackwell, pp. 261-283.
- Napolitano, F.; Mota-Rojas, D.; Guerrero Legarreta, I.; Orihuela, A. The Latin American river buffalo, recent findings. In spanish: El búfalo de agua latinoamericano, hallazgos recientes. 3a edición; BM Editores press. Mexico city, Mexico, 2020; pp. 1-1558. <https://www.researchgate.net/profile/Fabio-Napolitano-2/research>
- Oliveira, R.L., Ladeira, M.M., Barbosa, M.A.A.F., Matsushita, M., Santos, G.T., Bagaldo, A.R., Oliveira, R.L., 2009. Composição química e perfil de ácidos graxos do leite e muçarela de búfalas alimentadas com diferentes fontes de lipídeos. Arq. Bras. Med. Vet. Zoo. 61(3), 736–744. <https://doi.org/10.1590/s0102-09352009000300030>
- Pasquini, M., Osimani, A., Tavoletti, S., Moreno, I., Clementi, F., Trombetta, M.F., 2018. Trends in the quality and hygiene parameters of bulk Italian Mediterranean buffalo (*Bubalus bubalis*) milk: A three year study. Anim. Sci. J. 89(1), 176–185. <https://doi.org/10.1111/asj.12916>
- Pignata, M.C., Fernandes, A.S. de A., Ferrao, S.P.B., Faleiro, A.S., Conceicao, D.G., 2014. Estudo Comparativo Da Composição Química, Ácidos Graxos E colesterol de leites de búfala e vaca. Rev. Caatinga. 27(4), 226–233.

- Prajapati, D.B., Kapadiya, D.B., Jain, A.K., Mehta, B.M., Darji, V.B., Aparnathi, K.D., 2017. Comparison of Surti goat milk with cow and buffalo milk for physicochemical characteristics, selected processing-related parameters and activity of selected enzymes. *Vet. World.* 10(5), 477–484. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.477-484>
- Ramya, P., Babu, A., Reddy, E., Reddy, Y., Rao, L., 2016. Analysis of various physico chemical properties of raw buffalo milk samples marketed in and around Proddatur town, YSR Kadapa district, Andhra Pradesh, India. *J. Livestock Sci.* 7, 30–34.
- Reddi, S., Mada, S.B., Kumar, N., Kumar, R., Ahmad, N., Karvande, A., Kapila, S., Kapila, R., Trivedi, R., 2019. Antiosteopenic Effect of Buffalo Milk Casein-Derived Peptide (NAVPITPTL) in Ovariectomized Rats. *Int. J. Pept. Res. Ther.* 25(3), 1147–1158. <https://doi.org/10.1007/s10989-018-9763-0>
- Regmi, S., Regmi, S., Bista, S., Lamichhane, U., Tiwary, A.K., Bashyal, R., 2020. Effect of Pregnancy and Dry Period on Raw Milk Quality of Water Buffalo in Chitwan, Nepal. *J Adv. Dairy. Res.* 8(1), 1–4. <https://doi.org/10.35248/2329-888X.19.8.1.235>
- Sahin, A., Ulutas, Z., 2016. Changes in some physico-chemical content of Anatolian buffalo milk according to the some environmental factors. *Buffalo Bull.* 35(4), 573–585.
- Sales, D.C., Rangel, A.H. do N., Urbano, S.A., Tonhati, H., Galvão Júnior, J.G.B., Guilhermino, M.M., Aguiar, E.M., Bezerra, M. de F.,

2018. Buffalo milk composition, processing factors, whey constituents recovery and yield in manufacturing Mozzarella cheese. *Food Sci. Technol.* 38(2), 328–334. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.04317>
- Santillo, A., Caroprese, M., Marino, R., Sevi, A., Albenzio, M., 2016. Quality of buffalo milk as affected by dietary protein level and flaxseed supplementation. *J. Dairy. Sci.* 99(10), 7725–7732. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11209>
- Sharif, A., Ahmad, T., Umer, M., Bilal, M. Q., Muhammad, G., Sharif, M. A., 2009. Quarter Based Determination of Milk Lactose Contents and Milk. *Pakistan J. Zool. Suppl.* 9, 313–321.
- Shazly, A.B., He, Z., Zeng, M., Qin, F., Zhang, S., Chen, J., 2017. Comparative Assessment of Physicochemical and Structural Properties of Buffalo and Bovine Casein. *Int. J. Agric. Sci.* 4(2), 132–136.
- Silva, D.A. da, Medeiros, W.P. de, Albuquerque, T. da N., Santos, E. da N., Junior, A.L.F. de A., Andrade, R. de O., 2019. Características qualitativas e sensoriais do leite das diferentes espécies domésticas. *Rev. Bras. de Gestão Ambiental.* 13(4), 5–13.
- Singh, M., Sharma, R., Ranvir, S., Gandhi, K., Mann, B., 2019. Profiling and distribution of minerals content in cow, buffalo and goat milk. *Indian J. Dairy Sci.* 72(05), 480–488. <https://doi.org/10.33785/ijds.2019.v72i05.004>

- Teixeira, L.V., Bastianetto, E., Oliveira, D.A.A., 2005. Leite de búfala na indústria de produtos lácteos. *Rev. Bras. Reprod. Anim.* 29(2), 96–100.
- Ullah, R., Khan, S., Ali, H., Bilal, M., Saleem, M., Mahmood, A., Ahmed, M., 2017. Raman-spectroscopy-based differentiation between cow and buffalomilk. *J. Raman Spectrosc.* 48(5), 692–696. <https://doi.org/10.1002/jrs.5103>
- Vidu, L., Chelmu, S., Băcilă, V., Maciuc, V., 2015. The content of minerals and fatty acids in buffalo milk, depending on the rank of lactation. *Rom. Biotech. Lett.* 20(1), 10076–10084.
- Yoganandi, J., Mehta, B.M., Wadhwani, K.N., Darji, V.B., Aparnathi, K.D., 2014a. Comparison of physico-chemical properties of camel milk with cow milk and buffalo milk. *J. Camel Pract. Res.* 21(2), 253–258. <https://doi.org/10.5958/2277-8934.2014.00045.9>
- Yoganandi, J., Mehta, B.M., Wadhwani, K.N., Darji, V. B., Aparnathi, K.D., 2014b. Evaluation and comparison of camel milk with cow milk and buffalo milk for gross composition. *J. Camel Pract. Res.* 21(2), 259–265. <https://doi.org/10.5958/2277-8934.2014.00046.0>
- Zava, M., Sansinena, M., 2017. Buffalo milk characteristics and by-products. In G. A. Presicce (Ed.), *The Buffalo (Bubalus bubalis) - Production and Research*, Bentham Science Publishers, pp. 262-297.

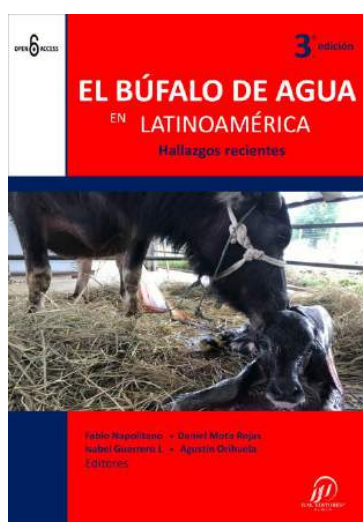
Zhou, L., Tang, Q., Wasim Iqbal, M., Xia, Z., Huang, F., Li, L., Liang, M., Lin, B., Qin, G., Zou, C., 2018. A comparison of milk protein, fat, lactose, total solids and amino acid profiles of three different buffalo breeds in Guangxi, China. *Ital. J. Anim. Sci.* 17(4), 873–878.
<https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1443288>



CAPÍTULO 31

QUESO MOZZARELLA: INOCUIDAD, ADULTERACIÓN, COMERCIALIZACIÓN Y PERSPECTIVAS A FUTURO

Fabio Napolitano, Daniel Mota-Rojas, José Ángel Pérez-Álvarez, Isabel Guerrero Legarreta, Corrado Pacelli, Juana Fernández-López, Rosy Cruz-Monterrosa, César Lázaro de la Torre, Patricia Mora-Medina, Efrén Ramírez-Bribiesca, Adolfo A. Rayas-Amor, Belén Alavés, Jocelyn Gómez-Prado, Fabiola Torres-Bernal, Aldo Bertoni, Manuel Viuda-Martos



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3^a. Edición

CAPÍTULO 31

Queso mozzarella: inocuidad, adulteración, comercialización y perspectivas a futuro

Fabio Napolitano¹, Daniel Mota-Rojas², José Ángel Pérez-Álvarez³, Isabel Guerrero Legarreta⁴, Corrado Pacelli¹, Juana Fernández-López³, Rosy Cruz-Monterrosa⁵, César Lázaro de la Torre⁶, Patricia Mora-Medina⁷, Efrén Ramírez-Briebesca⁸, Adolfo A. Rayas-Amor⁵, Belén Alavés², Jocelyn Gómez-Prado², Fabiola Torres-Bernal², Aldo Bertoni², Manuel Viuda-Martos³

¹*Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.*

²*Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-X. Ciudad de México. México.*

³*Departamento de Tecnología Agroalimentaria, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH), España.*

⁴*Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-I. Ciudad de México. México.*

⁵*Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-L. Lerma. México.*

⁶*Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.*

⁷*Departamento de Ciencias Pecuarias, FESC. Universidad Nacional Autónoma de México. México.*

⁸*Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.*

INTRODUCCIÓN

La leche de búfala de agua (*Bubalus bubalis*) ocupa el segundo lugar en la producción mundial. Sin embargo, siendo un alimento altamente perecedero, se transforma en queso mozzarella para alargar su vida útil. El queso mozzarella se elabora exclusivamente con leche de búfala; está protegido con denominación de origen, producido en plantas especializadas de la Campania, Lacio y Molise (Italia) así como con estrictos protocolos, basado en la legislación italiana. Es un producto de alto valor biológico para el consumo humano, fresco, de



“pasta hilada” o “pasta filata” como también se conoce, tiene una vida de anaquel muy corta, por su alto porcentaje de humedad y bajo contenido de sal. Estas mismas características lo hacen propenso a la contaminación por microorganismos alterantes generando su deterioro, y por aquellos patógenos causantes de enfermedad en el consumidor. Se ha incrementado la demanda de los consumidores por el queso mozzarella; sin embargo, lo que ha favorecido el fraude, adicionando leche de vaca en sustitución de la leche de búfala, con detrimento en la salud de ciertos grupos vulnerables que no toleran la lactosa vacuna o del comercio del producto al ser suplantada la etiqueta de un alimento con alto valor comercial y protegido con la denominación de origen, por lo cual se han desarrollado una serie de técnicas para identificar tanto la microbiota, como la detección de fraude en los quesos (Guerrero Legarreta et al., 2019; Napolitano et al., 2020). De esta manera, el objetivo de este capítulo fue identificar los hallazgos científicos recientes que permitan analizar los avances en materia de inocuidad, adulteración, comercialización y perspectivas a futuro del queso mozzarella.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en el año 2019 la producción mundial de leche de todas las especies alcanzó las 852 millones de toneladas, de las cuales 15% procedieron de búfala de agua (*Bubalus bubalis*) (OECD-FAO, 2020). Las leches de vaca y búfala de agua ocupan primero y segundo lugar en producción a nivel mundial (Bhattarai y Acharya, 2010). Sin

embargo, siendo un alimento altamente perecedero, como una alternativa para conservar la leche fresca es elaborar queso (Dalla et al., 2017) y debido al alto contenido proteína, así como de vitamina A, así como los niveles reducidos en colesterol en la búfala, la leche se ha convertido en la materia prima preferida para la producción de queso (Bhattarai y Acharya, 2010).

El mozzarella tradicional es un queso sin madurar producido en el sur de Italia, quizás el más popular del mundo; sin embargo, la creciente demanda de queso mozzarella de búfala ha favorecido que se proteja al producto tanto en el mercado nacional italiano como en el internacional como queso mozzarella con Denominación de Origen Protegida (DOP). Este producto conocido como mozzarella di Bufala Campana se produce según las directrices aprobadas por la Unión Europea, que establecen requisitos específicos en cuanto al origen de la leche de búfala a utilizar y las condiciones de elaboración (Liotta et al., 2015). En cuanto a la elaboración del queso mozzarella tradicional, esta se basa en la utilización exclusivamente de leche de búfala de agua (cruda o entera) adicionando cultivos de suero natural como iniciadores de fermentación (Aponte y Blaiotta, 2010).

Aunque el producto tradicional se exporta ampliamente, también se produce industrialmente en otros países (Ercolini et al., 2004), con denominación de “tipo o imitación” queso mozzarella. Sin embargo, ante la creciente demanda de este producto y con el propósito de

proteger a los consumidores y países productores del fraude originado por la adición de leche de bovino o la suplantación de etiquetas para el queso mozzarella de búfala de agua, se han desarrollado métodos basados en análisis de proteínas mediante técnicas cromatográficas, electroforéticas e inmunológicas y recientemente con este mismo fin, se ha implementado el análisis por espectrometría de masas (Feligini et al., 2005).

En cuanto a sus características, el queso mozzarella de búfala de río tiene un alto contenido de humedad (55-62%) y dentro de la materia seca, presenta un alto contenido de grasa (> 45%). Asimismo, el producto se caracteriza por un cuerpo suave de “pasta hilada”, de apariencia jugosa y por un ligero sabor agradable fresco y ácido que recuerda a la nuez (Ercolini et al., 2004). Sin embargo, estas particularidades en su composición química, también son propicias para la instauración de microorganismos contaminantes los que utilizando a los nutrientes del queso en su propio beneficio, a través de su degradación, generan modificaciones bioquímicas que deterioran la calidad organoléptica y nutricional del queso, convirtiendo al producto además en un posible riesgo sanitario para el consumidor.

Ante la cada vez mayor demanda diaria de un producto, como es el queso mozzarella debido a los beneficios nutricionales y sensoriales que aporta (Fasale et al., 2017), se ha visto mermada la oferta, por lo

que es necesario adaptarse al comercio moderno, lo cual representa oportunidades para el desarrollo del mercado: incrementando la producción, generando los canales apropiados para su comercialización y consumo; poniendo especial atención a que en cada uno de los eslabones, se garantice la inocuidad así como evitar el fraude en un producto de excelente calidad (De Stefano, 2004). Por ello, el objetivo del presente capítulo es identificar los hallazgos científicos recientes que permitan analizar los avances en materia de inocuidad, adulteración, comercialización y perspectivas a futuro del queso mozzarella.

CUALIDAD O CALIDAD

La calidad de los alimentos, y en este caso particular del queso mozzarella, es una serie de características o cualidades que, integradas, determinan su valor o aceptabilidad para el consumidor. Abarca atributos positivos, como origen, color, aroma, textura y métodos de elaboración de los alimentos; sin embargo, es frecuente evaluar a un alimento por sus atributos o características negativos, como el estado de descomposición, contaminación con suciedad, decoloración y olores desagradables (FAO/OMS, 2003; Aguiar et al., 2018). Estas características negativas son consideradas como uno de los principales atributos inherentes para cualquier alimento a los que se debe prestar atención y en el caso específico para el queso mozzarella, están asociados con la calidad sanitaria del producto que

implica la ausencia de adulterantes, toxinas contaminantes y cualquier otra sustancia que pueda convertir al alimento como nocivo para la salud. En ciertas situaciones, se puede aceptar cierto nivel de dichos elementos, siempre y cuando se garantice que son inocuos (Mercado, 2007).

INOCUIDAD

En términos amplios, el queso es un producto alimenticio que posee y ofrece muchas bondades, tiene una amplia gama de sabores, texturas y usos finales. La gran mayoría del queso no se come solo, sino como parte de otro alimento (Jana y Tagalpallewar, 2017). En el caso particular del queso mozzarella de búfala de agua, este es clasificado como un queso de “pasta filata”. Este queso es elaborado de manera tradicional a partir de leche de búfala de agua, cruda o entera (Aponte y Blaiotta, 2010), se almacena en envases que contienen líquido, suero diluido o agua del molde; tiene una vida útil limitada de aproximadamente 7 días (Romano et al., 2001).

Algunas propiedades como el fundido, el estiramiento, la formación de aceite libre y la elasticidad son de tipo funcional, consideradas básicas para el queso mozzarella (Jana y Tagalpallewar, 2017). Para la elaboración del queso mozzarella fresco es necesaria la acidificación directa y para ello se adicionan cultivos naturales del suero de leche del día anterior, denominados iniciadores que le dan su particular

grado de acidez, lo cual favorece “hilar” la pasta (Romano et al., 2001; Arora et al., 2019). El procedimiento de elaboración tradicional consiste en los siguientes pasos generales: calentamiento de la leche cruda de búfala a 37°C, luego se agregan cuajo y los cultivos del suero de leche. Después de una fase de acidificación de la cuajada (durante 4 a 4.5 h, a 35-37°C), hasta que alcanza valores de pH óptimo (4.9-5.1), con la cuajada escurrida se procede a estirla bajo agua caliente (90-95°C). El producto elástico formado (“pasta filata”) se moldea a mano para obtener la forma redonda típica y al final se hace un corte manual en un lado de la pasta moldeada (del italiano *mozzare* “cortar a mano”), del cual procede el nombre del queso Mozzarella (Ercolini et al., 2004).

Durante el proceso de elaboración tradicional del queso mozzarella, no hay un control sobre la microflora, por lo tanto, desde los microorganismos contenidos en la leche de búfala cruda y la microbiota que se encuentra en el entorno de su elaboración son sin duda parámetros que afectan la fabricación del queso (Ercolini et al., 2004). En este contexto, pueden adicionarse diferentes tipos de microorganismos propios para el desarrollo de las características sensoriales del queso, pero también microorganismos que deterioren al alimento o pueden ser causa de enfermedad en el consumidor.

a) Microorganismos iniciadores-conservadores

Los microorganismos iniciadores son una cepa o combinación de cepas microbianas que, adicionadas a una materia prima, provocan transformaciones positivas en el sabor, el color, la textura o el olor, mejorando en algunos casos el valor nutricional del alimento. Entre estos microorganismos se encuentran los termófilos *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Lactobacillus helveticus*, *Streptococcus thermophilus*, *Enterococcus*, altos niveles de *Lactococcus* (*Lactococcus lactis*) y diversas lactobacilos mesófilos tales como *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, así como cuentas reducidas de *Leuconostoc* sp. y levaduras (Romano et al., 2001) **(Cuadro 1)**. En otros procesos menos tradicionales, se adicionan ácidostales como ácido cítrico o vinagre blanco para reducir el pH. En ambos casos se requiere de un almacenamiento en seco o en agua sin adición de sal.

El almacenamiento en refrigeración, el pH bajo (<5.4) y la competencia que generan los microorganismos lácticos son considerados los únicos elementos que impiden el crecimiento de microorganismos no deseados durante el almacenamiento (Koka y Weimer, 2000), que podrían ser deteriorantes para el queso o patógenos para el consumidor y perder, por tanto, el grado de calidad-vida útil o la inocuidad del producto, respectivamente. Entendiéndose por inocuidad como la garantía de que un alimento no cause daño al consumidor (Mercado, 2007). Recordando que en general, la leche y

los derivados lácteos no son alimentos estériles, de forma normal contienen microorganismos, generalmente aerobios que crecen a temperaturas ambiente (mesófilos) y que pueden ser alterantes tales como los microorganismos sacarolíticos que producen la hidrólisis de la lactosa generando ácido láctico. Estos mesófilos aerobios se controlan a temperaturas de refrigeración; sin embargo, también en estas condiciones de almacenamiento se desarrollan otro tipo de microorganismos deteriorantes denominados psicrófilos que son principalmente proteolíticos y lipolíticos, demeritando la calidad de la leche y de los derivados (Júnior et al., 2018).

En ambos casos, se pueden identificar comunidades de microorganismos aun cuando se hayan realizado la obtención de la leche o su procesamiento en condiciones higiénicas (**Cuadro 1**).

De esta manera, Aponte y Blaiotta (2010) señalan que durante la elaboración del queso mozzarella se pueden encontrar elementos que favorecen el desarrollo de una población microbiana que puede estar relacionada con el contexto de fabricación y con la ubicación del lugar de donde proviene la leche. Estos autores reportan el aislamiento de sesenta cultivos de levaduras a partir de muestras de mozzarella de búfala de agua provenientes de 16 fincas o granjas ubicadas en las provincias de Salerno, Caserta y Frosinone (Italia). La técnica que se utilizó para la identificación de las cepas fue PCR-RFLP de rDNA. Los resultados revelaron que existe un gran número de levaduras fermentadoras como *Kluyveromyces marxianus* (38.3% del total de aislados), que se considera una excelente fermentadora de lactosa y

Saccharomyces cerevisiae fermentadora de galactosa (21.6% del total de aislados). Lo anterior sugiere que estas levaduras contribuyen a la generación de las propiedades organolépticas del queso mozzarella elaborado con leche de búfalo de agua. Sin embargo, también se encontró la presencia de otras 7 especies correspondientes a los géneros *Pichia* y *Candida* los cuales con poca o nula frecuencia son encontrados en productos lácteos. Esta evidencia requiere de investigación exhaustiva y su participación en las propiedades del queso mozzarella necesita ser investigado más a fondo.

b) Microorganismos patógenos

El otro grupo de microorganismos, los denominados patógenos transmitidos por los alimentos, se han identificado en leche de tanque a granel de los bovinos. Los más abundantes son: *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* productora de toxina Shiga (STEC), *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* enterotoxigénico, *Yersinia enterocolitica*, *Mycobacterium bovis*, *Brucella* spp., *Coxiella burnetti* y otras (Oliver et al., 2009). Muchos de estos también se han detectado en la leche de búfala y en el queso mozzarella (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Microbiota de leche cruda y del queso

Microorganismos alterantes	Microorganismos iniciadores (conservadores)	Microorganismos patógenos
Hongos y levaduras, (Aponte y Blaiotta, 2010) Microorganismos mesófilos y psicrófilos aerobios (sacarolíticos, proteolíticos, lipolíticos), tales como <i>Pseudomona aurescens</i> (Júnior et al., 2018).	<i>Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus</i> , <i>Lactobacillus helveticus</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Enterococcus</i> , altos niveles de <i>Lactococcus</i> (<i>Lactococcus lactis</i>) y diversas lactobacilos mesófilos tales como <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Leuconostoc</i> sp, entre otros (Romano et al., 2001)	<i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Escherichia coli</i> productora de toxina Shiga (STEC), <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Salmonella spp.</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> <i>enterotoxigénico</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Mycobacterium bovis</i> , <i>Brucella spp.</i> , <i>Coxiella burnetii</i> entre otras (Oliver et al., 2009)

Ciertos microorganismos alterantes y patógenos, pueden estar presentes desde la materia prima leche (contaminación de origen) y aunque la pasteurización HTST a 72.2°C durante 15 segundos es capaz de destruir a la mayoría de los microorganismos patógenos, Koka y Weimer (2001) mencionan que algunos organismos termófilos que resisten esta pasteurización, pueden llegar a producir lipasas

termoestables y proteasas (Koka y Weimer, 2000) las cuales afectan la textura y sabor del queso.

También resistente a la pasteurización de la leche es *Escherichia coli* O157:H7 enterohemorrágica pues se destruye a 100°C durante 5 min (Rasooly y Do, 2010). Otras bacterias frecuentemente encontradas son *Staphylococcus aureus*, una bacteria enterotoxigénica y *E. coli* enterotoxigénica, ambas causan enfermedades gastrointestinales por consumo de alimentos contaminados (Zhang y Sack, 2012).

Por último, es importante mencionar a *Listeria*, este patógeno es capaz de sobrevivir a ambientes salados y fríos que se encuentra comúnmente en quesos semiduros y blandos (FDA, 2009a,b). Como se puede apreciar, la carga de microorganismos puede ser incrementada si no se siguen las buenas prácticas higiénicas durante el procesamiento desde la obtención y la transformación de leche hasta la producción del queso (Costa-Dias et al., 2012) (**Figura 1**).

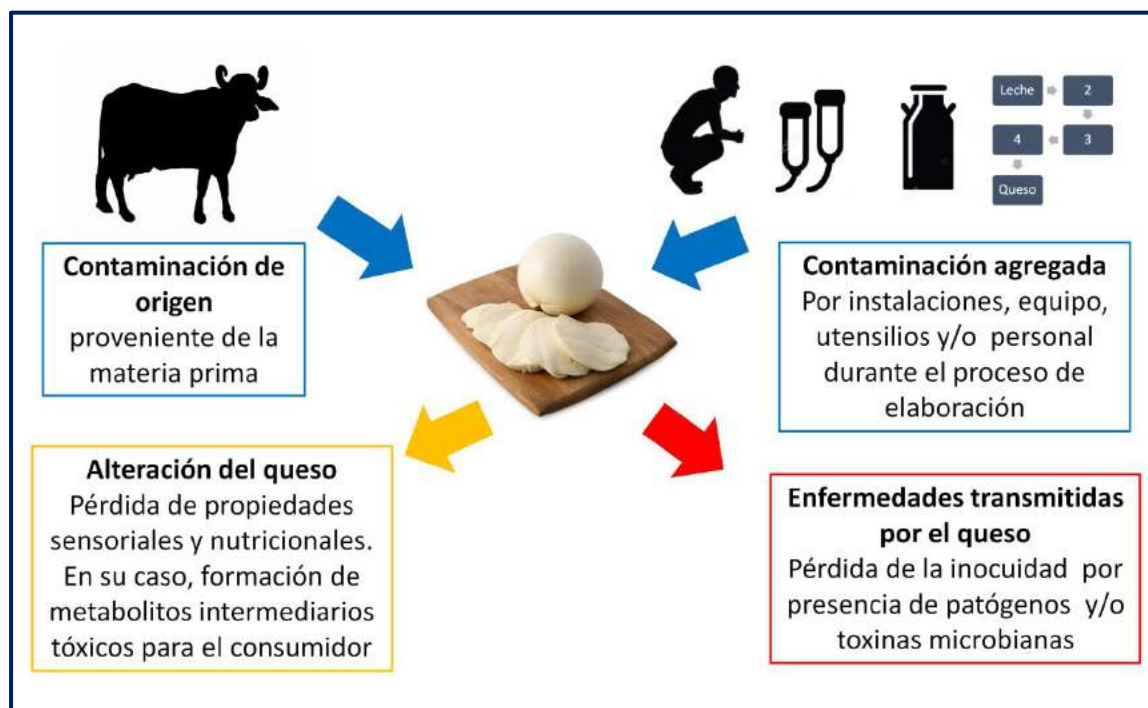


Figura 1. Tipos de contaminación microbiológica en el queso mozzarella y sus posibles consecuencias

En este contexto, la supervivencia de los microorganismos patógenos, así como aquellos implicados en la descomposición del queso mozzarella fresco durante el almacenamiento, se ha estudiado poco (Ganesan et al., 2012), en comparación con la microbiota de los quesos de maduración blanda, en los que se plantea que las bacterias patógenas no sobreviven más de 60 días de almacenamiento (FDA, 2010).

En función a las características microambientales que son favorables para el desarrollo de los microorganismos, Schlessner et al. (2006) y D'Amico et al. (2008) reportan que ciertas bacterias patógenas son

capaces de sobrevivir 4 meses en concentraciones de 4.5% de sal en queso cheddar, el cual es un queso semiduro. Sin embargo, el queso mozzarella representa un modelo de estudio para entender las condiciones fisicoquímicas de los quesos blandos que potencian la supervivencia bacteriana, pues este queso contiene 2 veces más humedad que el cheddar, se almacena en agua, tiene poca sal en la cuajada, y presenta una vida útil más corta (Ganesan et al., 2012).

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1981) un periodo de 21 a 30 días es el intervalo de tiempo que abarca la vida útil de los quesos Mozzarella frescos comerciales, mantenidos en refrigeración a temperatura de 4°C. Este corto periodo de vida útil en contraste con otros quesos de pasta filata, puede atribuirse a los siguientes factores: la falta de sal, lo que favorece un valor elevado de actividad de agua libre (a_w) que puede ser utilizada por los microorganismos para su propio desarrollo; y la elevada humedad de la cuajada (aproximadamente 60 %) lo que favorece el crecimiento bacteriano no deseado y su actividad metabólica; así como la actividad catabólica de las enzimas autolíticas generando el deterioro del producto; sin embargo, durante el proceso adicionar bacterias ácido-lácticas favorece la presencia de bacteriocinas que compiten con la flora indeseable, (Fischer y Megevand, 2006).

Además, en seguimiento a las regulaciones de la Administración de Medicamentos y Alimentos de los Estados Unidos (FDA) (FDA, 2011),

para eliminar la carga de bacterias patógenas, la leche a utilizar para el queso debe pasteurizarse a 72°C durante 15 segundos o su equivalente en tiempo-temperatura (**Figura 2**).

Modificando aspectos en el microambiente y evaluando su efecto en la carga bacteriana Ganesan et al. (2012) realizaron un estudio en el cual determinaron el resultado de la utilización de la sal sobre las cuentas de microorganismos deteriorantes del queso mozzarella fresco. Los autores parten del hecho que una baja concentración de sal promueve que las bacterias alterantes y patógenas proliferen en el queso mozzarella fresco durante el almacenamiento largo, con lo cual se ve afectada su calidad e inocuidad, respectivamente. Se utilizaron dos diferentes concentraciones de sal: alta (2%) y baja (0.5%).

Se tomó una porción de los quesos para la identificación y recuento de microorganismos aerobios alterantes mediante placas de agar. Otras muestras de queso se inocularon con *Escherichia coli* o *Enterococcus faecalis*. Al realizar el conteo, no se detectaron coliformes y bacterias psicrófilas durante las primeras 9 semanas. En el caso de microorganismos aeróbicos en placa, las cuentas se mantuvieron entre 100 y 300 ufc/g hasta 2 semanas, pero aumentaron de 1,000 a 10,000 veces entre 4 y 6 semanas en todos los niveles de sal y condiciones de almacenamiento.

En cuanto a los quesos inoculados, la cantidad de microorganismos aumentaron 100 veces hasta los 90 días de almacenamiento. Lo cual pudo atribuirse a que los microorganismos tuvieron las condiciones microambientales favorables y el sustrato necesario para su reproducción, alcanzando grados de contaminación elevados en ambos niveles de sal.

Es importante señalar que en cuanto al grado de contaminación necesario para adherirse al queso, la *Escherichia coli* que se inoculada al queso almacenado en salmuera, se multiplicó 100 veces antes de adherirse al queso. Por el contrario, *Enterococcus faecalis* tardó 1 día en adherirse al queso y fue hasta este momento que comenzó su proliferación. Los autores concluyen que las bacterias presentes (en ambientes similares) son capaces de unirse a la cuajada de queso y posterior a esta condición, sobreviven de manera diferente en el queso mozzarella fresco en comparación con las condiciones microambientales que les ofrece la salmuera.

Se concluye que una concentración del 2% de sal es insuficiente para controlar el crecimiento bacteriano. Por ello, las bacterias consideradas de crecimiento lento, tolerantes al frío y a la sal pueden sobrevivir afectando la calidad e inocuidad del queso mozzarella.

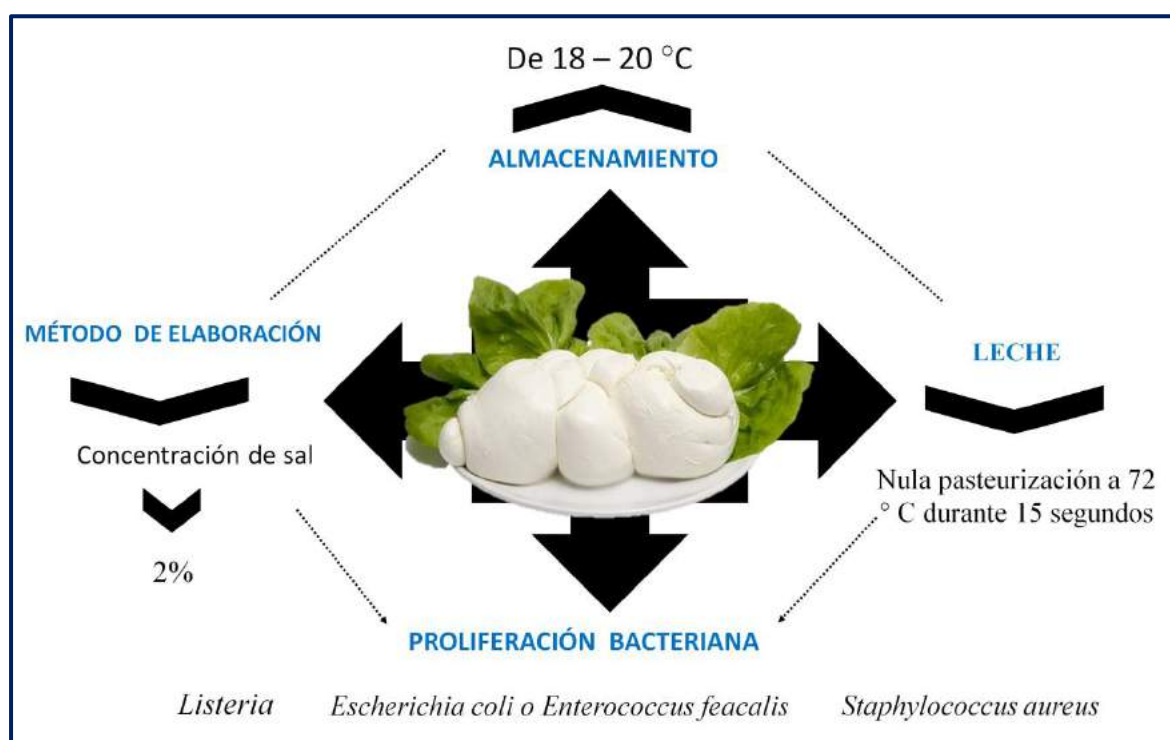


Figura 2. Factores que afectan la inocuidad del queso Mozzarella

Asimismo, Losito et al. (2014) también indican que los productos lácteos se caracterizan por una vida útil reducida porque son un excelente medio de crecimiento para una amplia gama de microorganismos contaminantes, en particular de *Escherichia coli*. Esta bacteria se encuentra dentro del grupo de los coliformes, los cuales se han considerado como un elemento que puede indicar el estado higiénico de los alimentos y del ambiente donde se obtienen (leche) y procesan-almacenan (queso). Por esta razón, se concluye en la importancia de evaluar la calidad microbiológica de manera constante y se propone un método de estudio microbiológico (MBS) por colorimetría. Este método fue desarrollado por la Universidad Roma Tre (Roma, Italia) el cual permite realizar análisis microbiológicos

rápidos y a bajo costo, sin la necesidad de una gran infraestructura como un laboratorio para análisis microbiológico o instrumentación. Así, se proponen un sistema colorimétrico rápido para la detección y el recuento selectivo de bacterias presentes en muestras agroalimentarias, hídricas y ambientales. Este método consiste en un kit analítico, que utiliza viales de reacción desechables listos para usar para análisis microbiológicos rápidos, sin la necesidad de personal no capacitado y en cualquier lugar, sin necesidad de otra instrumentación que un termostato ministrado bajo pedido. El principio del método se basa en medir la actividad catalítica de las enzimas redox en las principales vías metabólicas de las bacterias y lo que permite una correlación adecuada entre la actividad enzimática observada y el número de células viables presentes en las muestras. En este sentido Losito et al. (2012) mencionan que el tiempo requerido para un cambio de color está relacionado directamente con la carga bacteriana, esto es, cuanto mayor es el número de bacterias, más rápido es el cambio de color. Con base en lo anterior, Losito et al. (2014) evaluaron las concentraciones de bacterias ácido lácticas (LAB) y *E. coli* utilizando en 3 tipos diferentes de productos: queso Mozzarella de vaca, queso Mozzarella de búfala industrial y queso Mozzarella de búfala tradicional, evaluados durante 14 días de almacenamiento a 20°C. Lo encontrado en este trabajo indica que el crecimiento de bacterias alterantes se relacionó inversamente con el contenido de LAB y que el queso Mozzarella mantuvo sus características microbiológicas hasta los 7 días desde la producción

cuando se almacenó entre 18 y 20° C. Además, estos resultados confirman la hipótesis de que la concentración de LAB está relacionada no solo con la calidad sino también con la inocuidad del producto. Finalmente, el estudio concluye que el método MBS es capaz de arrojar resultados confiables para el análisis de LAB y *E. coli* en queso fresco. Con estos hallazgos se dan las pautas para que las pequeñas y medianas cadenas productivas de queso monitoreen por sí mismas, la inocuidad y la calidad del queso mozzarella.

Cabe destacar que ante estos hechos, un elemento importante de evaluación es la carga microbiana, pues representa un indicativo claro de la calidad del producto debido a que los microorganismos presentes en el queso incluyen todas las bacterias, mohos y levaduras capaces de desarrollarse en presencia de oxígeno. La presencia de una posible contaminación de la materia prima, inadecuadas temperaturas aplicadas en los procesos, condiciones deficientes de almacenamiento y transporte (Johnson, 2017; Merchán et al., 2019).

ADULTERACIÓN

La adulteración es el cambio que se da en el alimento eliminando su calidad por agregación sustracción, suplantación de algún nutriente o que le es ajeno o impropio con fines de engaño o para cometer fraude (López y Munguía, 2015). El fraude alimentario o el acto de defraudar a los compradores de alimentos o ingredientes para obtener beneficios económicos, ya sea consumidores o fabricantes de

alimentos, minoristas e importadores, ha sido un punto de quiebre en la industria alimentaria a través de la historia (Johnson, 2014).

En ese sentido, la autenticación de especies animales en los productos alimenticios juega un papel importante en la trazabilidad, la calidad y la inocuidad. Realizar una sustitución de materias primas o nutrientes con otras especies animales no declaradas puede resultar en incumplimiento de normas legales, corrientes religiosas y problemas alérgicos (Cottenet et al., 2011).

Los productos lácteos son propensos a estos incumplimientos debido al costo de sus nutrientes o por la sustitución de ciertas materias primas de menor calidad (López et al., 2015). En este caso, la adulteración más común del queso mozzarella es la sustitución de leche de búfala por leche de vaca, este problema es un fraude común debido al alto precio y limitada disponibilidad por la estacionalidad de la leche de búfala (Dal Bosco et al., 2018). En este sentido es importante mencionar que la Unión Europea concedió al queso mozzarella una marca legal, conocida como denominación de origen protegida (DOP). El sello de denominación de origen involucra a los alimentos con características de calidad, basadas tanto en factores naturales como humanos, que dependen esencial o exclusivamente del territorio donde se producen (Trimboli et al., 2019).

Por lo anterior, se considera adulteración a la elaboración del queso mozzarella la adición de leche de vaca, lo cual es una práctica muy común debido a su bajo costo y amplia disponibilidad (Dal Bosco et al.,

2018), o bien, elaborar el queso mozzarella en sitios diferentes a la región en donde se ha protegido el origen. Estas adulteraciones repercuten negativamente la calidad de los productos finales afectando sus características organolépticas e implica un problema de inocuidad alimentaria para las personas con intolerancia o alergia a la leche de vaca (Zachar et al., 2011), además dejan graves consecuencias económicas en el sector lácteo italiano (Dal Bosco et al., 2018).

En este sentido, para la adulteración con leche de vaca, se ha buscado lograr métodos para la detección los componentes de leche de vaca en la formulación del producto terminado. Para garantizar la autenticidad y la trazabilidad del producto y evitar posibles mezclas de materias primas de diferentes especies y fraudes, se han desarrollado varios métodos, como la electroforesis bidimensional, enfoque isoeléctrico, electroforesis capilar, HPLC, ELISA y técnicas cromatográficas; sin embargo, los resultados obtenidos en productos procesados por calor son deficientes (Cottenet et al., 2011).

Por ello Cottenet et al., (2011), realizaron un estudio para desarrollar una técnica de reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real (RT-PCR) enfocada al gen del citocromo b del DNA mitocondrial y a través de 2 sondas fluorescentes específicas para vaca (*Bos taurus*) y búfala (*Bubalus bubalis*) detectar leche de procedente de esas y otras especies animales. La especificidad se probó con éxito en otras 6

especies, incluyendo ovejas y cabras. En el resultado de la sensibilidad RT-PCR multiplex, se pudo detectar un contenido de material de búfalo tan bajo como el 1% en el ADN de la vaca y viceversa.

Como una evaluación en campo, el método se probó utilizando 119 muestras liofilizadas de leche. El ensayo multiplex indicó que aproximadamente el 20% de las muestras (principalmente de India) mostraron altos niveles de contaminación cruzada de la leche de vaca por leche de búfala y viceversa. Además de las muestras de leche de vaca, se recolectaron 39 muestras de leche etiquetadas como leches de búfala únicamente de la India y Pakistán, siendo China un productor mucho menor de leche de búfala.

Se detectó que la especie búfalo se encontró como materia prima en todas estas leches, mientras que adición de leche de vaca se detectó solo en muestras procedentes de la India. Entre ellos solo 30% no estaba contaminada y 25% contenía una cantidad baja de leche de vaca (<5%). Sin embargo, 45% de las muestras de leche de búfala de la India mostraron una mayor contaminación de leche de vaca (entre 5 a 50%).

Se concluye que el método RT-PCR es rápido, sensible y sencillo. Además este método es adecuado para el propósito control de autenticidad de la leche de vaca o búfala procedente de Asia, que puede ser una barrera comercial al detectarse fraude.

Además, cabe mencionar que el método es de gran utilidad para comprobar la pureza de los productos lácteos de vaca o búfala y con ello garantizar la autenticidad del queso mozzarella.

De la misma forma, Mafra et al. (2004) trabajaron para desarrollar un método basado en reacción en cadena de la polimerasa dúplex (PCR) el cual permite detectar leche bovina (raza *Frisia*) en quesos de ovino (razas *Churra* y *Bordaleira*). Los autores propusieron una metodología mediante la extracción de ADN de manera rápida y económica con los kits disponibles comercialmente. El estudio fue llevado con éxito para la detección y cuantificación de leche bovina cruda, pasteurizada y en polvo utilizada para la elaboración de diferentes quesos. La PCR dúplex propuesta proporciona un enfoque simple, sensible y preciso para detectar cantidades tan bajas como 0,1% de leche bovina en quesos y cuantificar la leche bovina en quesos ovinos en un rango de 1 a 50%. Los autores concluyen que este método puede ser aplicado en la detección de leche de vaca cruda o procesada en quesos de búfala o de otras especies animales.

En este orden de ideas, es posible afirmar que la reacción en cadena de la polimerasa dúplex permite la detección de una sustitución parcial o total de la leche de vaca en la leche de búfala utilizada para la elaboración de quesos como el Mozzarella, inclusive en quesos etiquetados con la leyenda “Puro de búfala” (Zachar et al., 2011).

Por otro lado, Dal Bosco et al. (2018) proponen un novedoso método basado en el uso de biomarcadores de bajo peso molecular (LMWB) que son específicos de especie. El objetivo de su estudio fue identificar los biomarcadores de leche de vaca y leche de búfala entre los micronutrientes liposolubles así como desarrollar una cromatografía líquida-espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS) para cuantificar la adición de leche de vaca a la leche de búfala utilizada para preparar queso mozzarella con el sello por designación de origen y por último verificar la confiabilidad del método propuesto. Los hallazgos indican que el β -caroteno, la luteína y la β -criptoxantina son biomarcadores propios de la leche de vaca, mientras que el ergocalciferol se encontró solo en la leche de búfala de río. Enseguida, para probar los 4 biomarcadores en el laboratorio se adulteraron intencionalmente quesos mozzarella. Al utilizar la técnica, se logró encontrar una cuantificación combinada de β -caroteno y ergocalciferol, logrando de esta manera la identificación de leche de vaca con una sensibilidad del 5% (w/w). Además la metodología fue aplicada a muestras de queso mozzarella de búfala de agua certificado y varios productos comerciales. Se concluyó que la técnica de LMWB es fácil y rápida de aplicar, de bajo costo y valiosa para autenticar los quesos mozzarella elaborados exclusivamente con leche de búfalo.

Asimismo, Trimboli et al. (2019) utilizaron la técnica de electroforesis capilar (CE) para separar, identificar y cuantificar las principales proteínas de la leche, diferenciando fracciones de caseína de leche

100% de vaca, oveja y cabra. Su objetivo fue desarrollar un nuevo método de CE para la detección de la concentración de leche de vaca añadida de forma fraudulenta a la leche de búfala. El método está basado en la utilización de un marcador y un instrumento CE utilizado habitualmente en análisis de sangre humana. En este trabajo se logró la identificación de la leche de vaca, utilizando α -lactoalbúmina de vaca (α -LA) como marcador de adulteración. Con este método se encontró una alta linealidad ($R^2 = 0.968$), repetibilidad [desviación estándar relativa (RSD)=2.11, 3.02, 4.38 y 1.18%, respectivamente para 5, 10, 20 y 50% de mezclas de suero de búfalo / bovino] y precisión intermedia (RSD=2,18, 2,49, 5,09 y 3,19%, respectivamente, para mezclas de suero de búfalo/bovino al 5, 10, 20 y 50%).

Por lo tanto, se consideró que la leche de vaca adicionada como adulteración fraudulenta fue detectable al menos en 1% y el límite de cuantificación fue de 3.1%. Se concluyó que el método CE logra evidenciar el fraude con leche de vaca. Además, se mostró la importancia de α -LA como marcador para la cuantificación de la leche de vaca. Se sugiere usar la técnica de electroforesis capilar ya que es una herramienta rápida y confiable para identificar si se ha producido adulteración con leche bovina del género *Bos* durante el proceso de producción de derivados de leche de oveja o búfala.

En este mismo aspecto, Gunning et al. (2019), identificaron cuantitativamente la autenticidad del queso mozzarella de búfala a

través de los aminoácidos de la fracción proteica α 1-caseína utilizando espectrometría de masas de monitoreo de reacción múltiple (MRM-MS), considerando que la caseína α subunidad 1 (α 1-caseína) se encuentra presente tanto en la leche de vaca como en la búfala; sin embargo, dentro de la estructura se detectan 10 diferencias en la secuencia de aminoácidos asociados con el gen CSN1S1.

Los investigadores extrajeron una serie de péptidos que podrían ser utilizados como marcadores específicos de cada especie sobre el queso mozzarella. Usando MRM MS, los péptidos que difieren en uno o más aminoácidos que surgen de estos tipos de "proteínas correspondientes" pueden identificarse y con ello usarse como marcadores cuantitativos para los componentes de una mezcla, en este caso de leches bovina y bufalina. Para validación de la prueba, se muestrearon productos de cuatro grupos: mozzarella de supermercado, pizza de supermercado, pizza de restaurante y otros alimentos (ensaladas y pastas) con una declaración en la etiqueta de mozzarella de búfala.

Entre los hallazgos, se pudo detectar mozzarella bovina en mozzarella de búfala hasta niveles del 1% p/p, el umbral generalmente aceptado para la adulteración, a diferencia de la contaminación accidental. Por otro lado, durante la prueba de evaluación en campo, se detectó falsedad o adulteración en la información de los quesos mozzarella de búfala, debido a que 2/3 de las comidas de restaurantes y pizzas de supermercado están mal etiquetadas o adulteradas.

Se concluye que la espectrometría de masas de monitoreo de reacción múltiple es una técnica relativamente sencilla para autenticar el producto de origen exclusivo de búfala, de aquello que tiene mezcla de leche de vaca en diferentes proporciones utilizando la digestión en silicio de α s1-caseína.

De igual manera, Enne et al. (2005) aplicaron cromatografía líquida de alta resolución en gradiente (RP-HPLC), como un método alternativo para la identificación en el queso mozzarella de búfala de agua de la adulteración con leche bovina (*Bos*).

El método se basa en la medición de proteínas β -lactoglobulinas (β -LG). La prueba se aplicó en leche cruda, cuajada de queso y suero del queso usando una columna C_4 y detector UV. Los resultados demuestran que la adición de leche bovina durante la elaboración del queso puede detectarse en el suero de queso mozzarella hasta 1%, límite que indica la legislación de la Unión Europea (Comisión Europea, 2018), así como en la leche cruda y cuajada de queso. Además, se encontró que β -LG bovino podía detectarse en la leche cruda, la cuajada y el suero hasta 0.5% de leche de vaca añadida.

Los investigadores recomiendan analizar la cuajada, ya que es esencial para lograr una cuantificación adecuada de las β -lactoglobulinas, permitiendo así una estimación confiable de la adición de leche bovina.

Finalmente, los métodos analíticos sencillos y rápidos destinados a identificar adulteraciones del queso mozzarella de búfala de agua son un recurso para las empresas fabricantes, así como para las instituciones oficiales responsables del control de la calidad de los alimentos, por lo que es importante aplicar dichas técnicas para evidenciar la adulteración (Dal Bosco et al., 2018).

COMERCIALIZACIÓN

El queso tiene gran valor económico y su producción y comercio internacional están aumentando. Por ejemplo, las exportaciones de productos lácteos de la UE aumentaron en el período comprendido del 19 de julio al 20 de junio de 2019, donde se exportaron 21 millones de toneladas de equivalente de leche, 140,000 toneladas más en comparación con el período de 19 de junio a mayo de 2019, abarcando así 62% del aumento en las entregas de leche (CLAL, 2019). La demanda diaria de queso aumenta en el mercado de alimentos debido a su importancia relacionada con el sabor, la nutrición, los beneficios para la salud, entre otros (Fasale et al., 2017).

En el contexto mundial, el consumo de queso se ha incrementado a lo largo de los años, observándose una alta demanda de dos tipos de queso: frescos y de pasta filata, dependiendo de las condiciones socioeconómicas y costumbres de cada región. La mozzarella es parte de los quesos de pasta filata, aunque originalmente se hacía con leche

de búfala, ahora se produce a partir de leche de vaca en muchos países, siendo esta última, la más redituable y comercializada (Jana y Mandal, 2011; Dalla et al., 2017; Martínez y Vélez, 2019).

Cabe señalar que a pesar de que la elaboración de queso mozzarella de búfala de agua cuenta con la clasificación DOP. Kiiru et al. (2018) indican que, aunque el queso mozzarella tradicional sólo era fabricado con leche de búfala de agua, en la actualidad es común y aceptado elaborar este producto a partir de leche de vaca o mezclado con leche de búfala; sin embargo, este producto no deberá ostentar el sello de denominación de origen, ni denominarse mozzarella, sino “tipo o imitación mozzarella” que deberá estar perfectamente señalado en las etiquetas. Aun con estas restricciones, para la producción de mozzarella de leche bovina se prevé un crecimiento exponencial para el futuro (Dalla et al., 2017).

En el caso específico de Italia, este producto está dotado de atributos muy apreciados relacionados con la tradición, la experiencia artesanal y la cultura alimentaria. En 2015 se estimó la producción en Italia de 253,000 toneladas de queso mozzarella, con un consumo per cápita de 4.6 kg por año (Castrica et al., 2020).

No obstante, es importante precisar que debido al alto contenido de vitamina A, proteína y colesterol bajo en la leche de búfala, el queso mozzarella producido a partir de esta leche tiene un precio elevado en

la mayor parte del mundo (Bhattarai y Acharya, 2010). Aunque se produce principalmente en Italia, se exporta ampliamente y también se produce industrialmente en otros países (Losito et al., 2014).

Una de las estrategias implementadas para la comercialización del queso mozzarella tradicional es la difusión de las bondades de un producto como tantos otros con denominación de origen; por ello, la exportación de queso mozzarella fabricado en Italia hacia los diferentes continentes aumentó en 16,4% de 2016 a 2017, siendo Japón, Corea del Sur y Estados Unidos los países que importaron más de 30% de la cantidad total de producto exportado (Alinovi et al., 2020) (**Figura 3**).

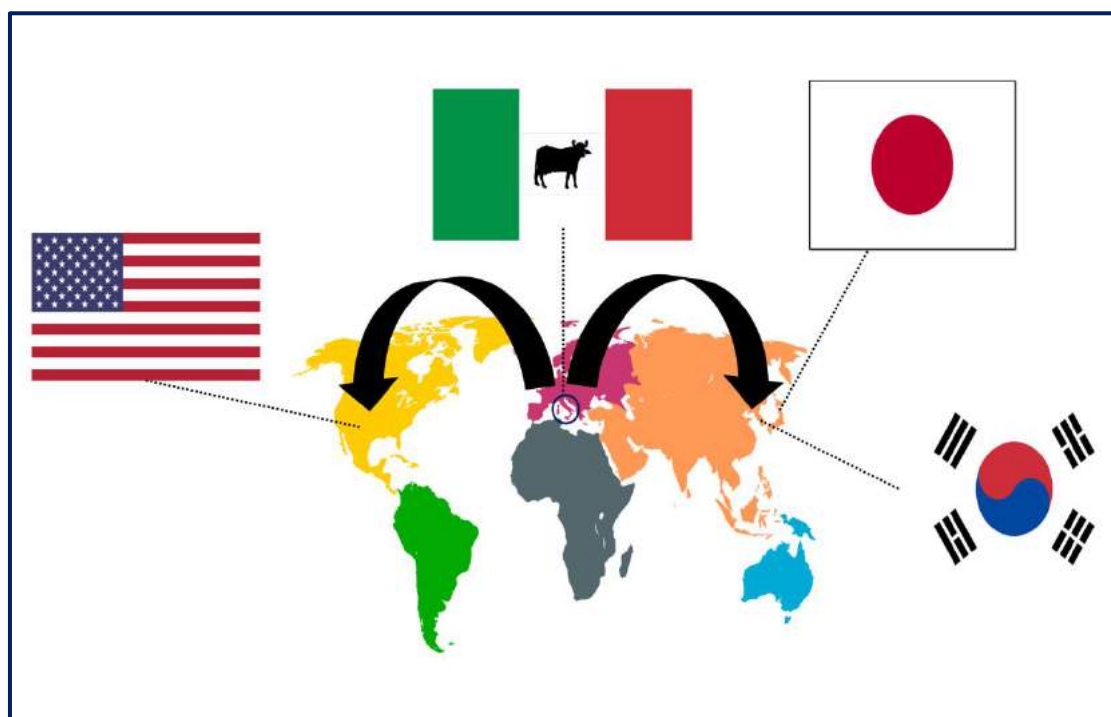


Figura 3. Rutas comerciales del queso mozzarella de búfalo de agua

En particular, el producto con denominación de origen Mozzarella di Bufala Campana experimentó en 2001 un incremento, tanto en cantidad (5.9%) como en valor (12.4%). Estas tendencias en el consumo de productos de búfala se produjeron dentro de un marco de precios que, en promedio, fluctúan hasta en 50% por arriba en comparación con el queso imitación mozzarella elaborado con leche de vaca (De Stefano, 2004)

PERSPECTIVAS A FUTURO

El queso mozzarella, debido a los requisitos sanitarios y de mercado, enfrenta una serie de retos, desde la obtención de la leche, el procesamiento, la conservación, la comercialización y el consumo.

Una de las bases para garantizar alimentos aceptables higiénicamente para posteriormente garantizar su inocuidad es la implementación de las buenas prácticas de manufactura. En alimentos perecederos, como el queso mozzarella, es importante realizar evaluaciones constantes del estado higiénico del establecimiento, concientizar a los gerentes y modificar los malos hábitos higiénicos del personal e implementar acciones preventivas y correctivas. En esta situación, la planta procesadora de queso tendrá más oportunidades de que sus productos sean competitivos, debido a la mejor calidad del producto.

Esto no siempre es fácil, por ello uno de los retos es que las unidades de procesamiento y los fabricantes de queso deben tener muy claras

las estrategias para solventar las inconformidades en materia de aceptabilidad higiénica del producto (Costa-Dias et al., 2012).

En cuanto a la conservación de la leche y el queso, se ha propuesto el uso de alternativas a la pasteurización de la leche, tales como la inactivación ultrasónica de microorganismos, método que ha obtenidos buenos resultados en la leche de vaca, con la ventaja de incrementar el grado de letalidad de algunos los microorganismos contaminantes, como *Escherichia coli*, *Pseudomona fluorescens* y *Debaryomyces hansenii*. Sin embargo, entre las desventajas del método se ha encontrado que, para ser eficiente, necesita aplicar ciclos ultrasónicos a valores elevados o durante tiempos prolongados que afectan la calidad sensorial de la leche.

Marchesini et al. (2015) encontraron que el tratamiento de 100% amplitud $\times$ 300 segundos mostró una reducción de la población de 4.61 Log para *D. hansenii*, 2.75 Log para *P. fluorescens*, 2.09 Log para *E. coli* y prácticamente ningún efecto (0.55 Log) para *S. aureus*. Sin embargo, se presentó deterioro sensorial en la leche, con características de gusto metálico, quemado, gomoso y afilado.

Este tipo de estrategias podrían usarse como procedimientos de saneamiento, inactivando y reduciendo las cargas microbianas, pero debe encontrarse el equilibrio para evitar la producción de sabores desagradables en la leche (Marchesini et al., 2015), estrategias que deberán ser probadas en leche y queso de búfala para determinar su

efectividad, prolongado así la vida útil de un producto de excelente calidad.

En lo que respecta a la producción, una investigación realizada por Castrica et al. (2020) exploró los componentes de la producción urbana de alimentos tomando como caso de estudio la producción de queso mozzarella en algunas micro lecherías ubicadas en la ciudad italiana de Milán. El objetivo era proponer una evaluación global sobre la sustentabilidad de este fenómeno innovador, considerando una gama más amplia de variables, incluida la inocuidad alimentaria y la preferencia del consumidor. Los resultados obtenidos demostraron que, aunque los impulsores de la producción urbana de alimentos tienen un gran potencial, su implementación concreta presentaba muchas debilidades y limitaciones.

Finalmente el estudio identificó tres puntos principales que requieren mayor atención y mejoras. Primero, la producción urbana de alimentos no significa automáticamente que los alimentos producidos sean ambientalmente sustentables. Segundo, la dimensión económica de esta sustentabilidad se ve obstaculizada por el alto precio de mercado de la mozzarella de producción urbana y, en consecuencia, sugiere que para este tipo de producción debe considerarse un alimento de nicho para consumidores de altos ingresos, más que una opción real para el ciudadano medio urbano. Por último, en cuanto a parámetros sensoriales e intención de compra, los consumidores

siempre prefirieron el queso mozzarella industrial utilizado como referencia, de 190% a 387% más barato que los de producción urbana.

En cuanto a la comercialización, los productos de búfalo han aumentado de manera constante, no obstante en menor grado de lo esperado. Lo anterior quizá se debe a deficiencias evidentes encontradas en la distribución del producto final y estrategias inadecuadas para mejorar la calidad de la leche. Por tanto, en el futuro el mercado jugará un papel muy importante. En particular, el sector de la distribución será cada vez más exigente en cuanto a términos y condiciones de suministro, exigiendo constantemente altos estándares de calidad de los bienes e inocuidad de los productos, y en general todas aquellas características que permitan la adopción de técnicas más modernas de empaque, promoción, mercadotecnia y gestión (De Stefano, 2004).

Para potenciar la comercialización del queso mozzarella es importante encontrar elementos que permitan promover este producto como un alimento de calidad, inocuo y de múltiples beneficios en la alimentación humana, que no se restrinja por el precio que paga el consumidor final. En relación a lo anterior, un hallazgo importante en el estudio realizado por Dal Bosco et al. (2018) permitió contrastar las propiedades nutricionales de micronutrientes de los mozzarellas de vaca y de búfalo de agua. Se encontró que el queso elaborado con leche de vaca contenía carotenoides antioxidantes y carotenoides

provitamina A, mientras que el elaborado con leche de búfalo de agua resultó ser una gran fuente de vitamina D. Lo anterior es información valiosa, pues no se habían publicado estos hallazgos. Esta concentración de vitamina D tiene implicaciones para incentivar el consumo de este producto como un factor más para contrarrestar la hipovitaminosis D, especialmente en los países más pobres. Los productos lácteos de búfalo de agua son alimentos que podrían integrarse fácilmente en una dieta equilibrada.

Es ampliamente recomendable difundir las bondades de un producto lácteo de alta demanda, como el queso mozzarella, generando un alimento funcional o queso prebiótico que contribuya en la prevención de enfermedades, con beneficios para la salud y satisfacción del consumidor más allá de su valor nutritivo. La fabricación de queso probiótico favorecido por componentes prebióticos debería presentar cambios mínimos en sus propiedades e importantes beneficios para la salud (Martínez y Vélez, 2019).

CONSIDERACIONES FINALES

En el queso mozzarella, al igual que cualquier otro derivado lácteo, debe cuidarse la aceptabilidad higiénica del producto evaluada a través de bajas cargas de microorganismos contaminantes (alterantes y patógenos) de origen o agregados durante la obtención de la materia prima y su posterior procesamiento hasta el producto terminado.

Siendo el queso mozzarella un producto de alto valor nutricional, que puede considerarse como funcional por la calidad de los nutrientes que contiene, es sujeto de fraude alimentario por la agregación de leche de vaca en la elaboración. Por lo que es importante que se empleen técnicas de autenticación del queso y de las materias primas en las que se demuestre que la leche procede exclusivamente de búfala de agua para garantizar la protección a la denominación de origen.

Es importante que se sigan realizando investigaciones, no sólo para validar las técnicas aplicadas para la conservación o la autenticación del producto leche y los derivados de búfala de río, sino también para estandarizar el proceso y demostrar las bondades del queso Mozzarella como alimento funcional para la salud humana, así como evaluar la producción de leche y queso de búfala en términos de sustentabilidad ambiental, una de sus propiedades principales, además de las sensoriales, nutricionales y de bienestar animal, estas últimas exigidas por la sociedad al adquirir algún producto de origen animal.

REFERENCIAS

- Aguiar, R.S., Esmerino, E.A., Rocha, R.S., Pimentel, T.C., Alvarenga, V.O., Freitas, M.Q., Silva, M.C., Sant'Ana, A.S., Silva, A.C.O., 2018. Physical hazards in dairy products: incidence in a consumer complaint website in Brazil. *Food Control*. 86, 66-70. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.020>
- Alinovi, M., Mucchetti, G., Wiking, L., Corredig, M., 2020. Freezing as a solution to preserve the quality of dairy products: the case of milk, curds and cheese. *Critical Rev. Food Sci. Nutrition*. 1-21. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1798348>
- Aponte, M., Pepe, O., Blaiotta, G. 2010. Short communication: Identification and technological characterization of yeast strains isolated from samples of water buffalo Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.* 93, 2358-2361. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2948>
- Arora, S., Sindhu, R., 2019. Production and Processing Methodology of Mozzarella Cheese. *Research & Reviews: J. Dairy Sci Technol.* 8(1), 30-34.
- Bhattarai, R.R., Acharya, P.P., 2010. Preparation and quality evaluation of mozzarella cheese from different milk sources. *J. Dairy Sci Technol. Nepal.* 6, 94-101. <https://doi.org/10.3126/jfstn.v6i0.8268>
- Castrica, M., Ventura, V., Panzeri, S., Ferrazzi, G., Tedesco, D., Balzaretto, C.M., 2020. The Sustainability of Urban Food

- Systems: The Case of Mozzarella Production in the City of Milan. *Sustainability*. 12(2), 682.
<https://doi.org/10.3390/su12020682>
- CLAL. 2019. Unione Europea: Settore lattiero caseario.
https://www.clal.it/en/?section=stat_ue15
- Comisión Europea (2018). Commission Implementing Regulation (EU) 2018/150 of 30 January 2018 amending Implementing Regulation (EU) 2016/1240 as regards methods for the analysis and quality evaluation of milk and milk products eligible for public intervention and aid for private storage Official Journal of the European Union, L26 2018. 14-47
- Costa, M. A., Sant'Ana, A. S., Cruz, A. G., José de Assis, F. F., de Oliveira, C. A. F., Bona, E., 2012. On the implementation of good manufacturing practices in a small processing unit of mozzarella cheese in Brazil. *Food control*, 24(1-2), 199-205.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.09.028>
- Cottenet, G., Blancpain, C., Golay, P.A., 2011. Simultaneous detection of cow and buffalo species in milk from China, India, and Pakistan using multiplex real-time PCR. *J. Dairy Sci.* 94(8), 3787-3793. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4195>
- D'Amico, D. J., Druart, M.J., Donnelly, C.W., 2008. 60-day aging requirement does not ensure safety of surface-mold-ripened soft cheeses manufactured from raw or pasteurized milk when *Listeria monocytogenes* is introduced as a postprocessing

contaminant. J. Food Prot. 71,1563–1571.
<https://doi.org/10.4315/0362-028X-71.8.1563>

Dal Bosco, C., Panero, S., Navarra, M. A., Tomai, P., Curini, R., Gentili, A., 2018. Screening and assessment of low-molecular-weight biomarkers of milk from cow and water buffalo: an alternative approach for the rapid identification of adulterated water buffalo mozzarellas. J. Agric. Food Chem. 66(21), 5410-5417.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01270>

Dalla, R.A., Burek, J., Kim, D., Thoma, G., Cassandro, M., De Marchi, M., 2017. Environmental life cycle assessment of Italian mozzarella cheese: Hotspots and improvement opportunities. J. Dairy Sci. 100(10), 7933-7952. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12396>

De Stefano, F., 2004. Economic problems in the buffalo milk filière. Vet. Res. Commun. 28, 137.

Enne, G., Elez, D., Fondrini, F., Bonizzi, I., Feligini, M., Aleandri, R., 2005. High-performance liquid chromatography of governing liquid to detect illegal bovine milk's addition in water buffalo Mozzarella: comparison with results from raw milk and cheese matrix. J. Chromatography A. 1094(1-2), 169-174.
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.09.004>

Ercolini, D., Mauriello, G., Blaiotta, G., Moschetti, G., & Coppola, S., 2004. PCR–DGGE fingerprints of microbial succession during a manufacture of traditional water buffalo mozzarella cheese. J. Appl. Microbiol. 96(2), 263-270.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.02146.x>

- FAO-OMS. 2003. Garantía de la Inocuidad y Calidad de los Alimentos: Directrices para el Fortalecimiento de los Sistemas Nacionales de Control de los Alimentos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación/Organización Mundial de la Salud. Roma, Italia. FAO, Estudios Alimentación y Nutrición, 76.
- Fasale, A.B., Patil, V.S., Bornare, D.T., 2017. Process Optimization for Mozzarella Cheese from Cow and Buffalo Milk. Intl. J. Food. Ferment. Technol. 7(1), 165-173.
<https://doi.org/10.5958/2277-9396.2017.00018.6>
- FDA (US Food and Drug Administration). 2009a. Torres Hillsdale Country Cheese LLC announces the recall of Oaxaca cheese due to possible *Listeria monocytogenes* contamination.
- FDA (US Food and Drug Administration). 2009b. Warning on potentially contaminated cheese.
- FDA (US Food and Drug Administration). 2010. Azteca Linda Corp. recalls Queso Fresco and Queso Hebra because of possible risk of health.
- FDA (US Food and Drug Administration). 2011. CFR—Code of Federal Regulations Title 21.
<https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?CFRPart=133&showFR=1>
- Feligini, M., Bonizzi, I., Curik, V.C., Parma, P., Greppi, G.F., Enne, G., 2005. Detection of adulteration in Italian mozzarella cheese

using mitochondrial DNA templates as biomarkers. Food Technol. Biotech. 43(1), 91-95.

Fischer, R. Megevand, C., 2006. Direct lactic acid set fresh mozzarella cheese. US Pat. Appl. No. 2006/0029714 A1.

Ganesan, B., Irish, D.A., Brothersen, C., McMahon, D.J., 2012. Evaluation of microbial survival post-incidence on fresh Mozzarella cheese. J. Dairy Sci. 95(12), 6891-6896. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5390>

Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. 2019. El Búfalo de Agua en las Américas/ River Buffalo in the Americas. 2nd. Edition. Guerrero-Legarreta I, Napolitano F, Mota-Rojas D and Orihuela, A. Jan. (2019). Ciudad de México. p.p. 1-881. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>

Gunning, Y., Fong, L.K., Watson, A.D., Philo, M., Kemsley, E.K., 2019. Quantitative authenticity testing of buffalo mozzarella via α s1-Casein using multiple reaction monitoring mass spectrometry. Food Control. 101, 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.02.029>

Jana, A.H., Mandal, P.K., 2011. Manufacturing and quality of mozzarella cheese: a review. International Journal of Dairy Science. 6(4), 199-226. <https://doi.org/10.3923/ijds.2011.199.226>

- Jana, A.H., Tagalpallewar, G.P., 2017. Functional properties of Mozzarella cheese for its end use application. *J. Food. Sci. Technol.* 54(12), 3766-3778. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2886-z>
- Johnson, M.E., 2017. A 100-year review: cheese production and quality. *J. Dairy Sci.* 100(12), 9952-9965. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12979>
- Johnson, R., 2014. Food fraud and “economically motivated adulteration” of food and food ingredients. Congressional Research Service
- Júnior, J. R., De Oliveira, A. M., Silva, F. D. G., Tamanini, R., De Oliveira, A. L. M., & Beloti, V., 2018. The main spoilage-related psychrotrophic bacteria in refrigerated raw milk. *J. Dairy Sci.* 101(1), 75-83. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13069>
- Kiiru, S.N., Mahungu, S.M., Omwamba, M., 2018. Preparation and analysis of goat milk mozzarella cheese containing soluble fiber from *Acacia senegal* var. *kerensis*. *Afr. J. Food Sci.* 12(3), 46-53. <https://doi.org/10.5897/ajfs2017.1652>
- Koka, R., Weimer, B. C., 2000. Isolation and characterization of a protease from *Pseudomonas fluorescens* RO98. *J. Appl. Microbiol.* 89, 280–288. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.01108.x>
- Koka, R., Weimer, B.C., 2001. Influence of growth conditions on heat-stable phospholipase activity in *Pseudomonas*. *J. Dairy Res.* 68, 109–116. <https://doi.org/10.1017/S0022029900004647>

- Liotta, L., Chiofalo, V., Lo Presti, V., Vassallo, A., Dalfino, G., Zumbo, A., 2015. The influence of two different breeding systems on quality and clotting properties of milk from dairy buffaloes reared in Sicily (Italy). *Ital. J. Anim. Sci.* 14(3), 3669. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3669>
- López, PJ., Munguía, VPM. 2015. Taller de control de calidad de alimentos de origen pecuario: primera parte. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (Ed), 1ra. ed. México, pp. 1-259.
- Losito, F., Arienzo, A., Bottini, G., Priolisi, F.R., Mari, A., Antonini, G., 2014. Microbiological safety and quality of Mozzarella cheese assessed by the microbiological survey method. *J. Dairy Sci.* 97(1), 46-55. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7026>
- Losito, F., Bottini, G., DeAscentis, A., Romana, P.F., Mari, A., Tarsitani, G., Antonini, G., 2012. Qualitative and quantitative validation of the micro biological survey method for *Listeria* spp., *Salmonella* spp., *Enterobacteriaceae* and *Staphylococcus aureus* in food samples. *Am. J. Food Technol.* 7, 340-351. <https://doi.org/10.3923/ajft.2012.340.351>
- Mafra, I., Ferreira, I.M., Faria, M.A., Oliveira, B.P., 2004. A novel approach to the quantification of bovine milk in ovine cheeses using a duplex polymerase chain reaction method. *J. Agric. Food Chem.* 52(16), 4943-4947. <https://doi.org/10.1021/jf049635y>

- Marchesini, G., Fasolato, L., Novelli, E., Balzan, S., Contiero, B., Montemurro, F., Segato, S., 2015. Ultrasonic inactivation of microorganisms: a compromise between lethal capacity and sensory quality of milk. *Innov. Food Sci. Emerg.* 29, 215-221. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.03.015>
- Martínez, M.M., Vélez R.J.F., 2019. Development and Physicochemical Characterization of a Functional Mozzarella Cheese Added with Agavin. *J Food Sci. Nutr. Res.* 2(2), 87-107. <https://doi.org/87-107.10.26502/jfsnr.2642-11000012>
- Mercado, C. E., 2007. Los ámbitos normativos, la gestión de la calidad y la inocuidad alimentaria: una visión integral. *Agroalimentaria*, 13(24), 119-131.
- Merchán, N., Zurymar T, S., Niño, L., Urbano, E., 2019. Determinación de la inocuidad microbiológica de quesos artesanales según las normas técnicas colombianas. *Rev. Chil. Nutr.* 46(3), 288-294. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182019000300288>
- Napolitano, F.; Mota-Rojas, D.; Guerrero Legarreta, I.; Orihuela, A., 2020. River Buffalo in Latin America/El búfalo de agua latinoamericano. 3rd. edition, Napolitano et al. (2020). 3a edición; BM Editores. Ciudad de México, México, 2020; pp. 1-1558. <https://www.researchgate.net/profile/Fabio-Napolitano-2/research>
- OECD/FAO (2020), OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029, OECD Publishing, Paris/FAO, Rome, Dairy and Dairy Products. Chapter 7. 174-183 <https://doi.org/10.1787/1112c23b-en>

- Oliver, S. P., Boor, K. J., Murphy, S. C., Murinda, S. E., 2009. Food safety hazards associated with consumption of raw milk. *Foodborne Pathog. Dis.* 6(7), 793-806. <https://doi.org/10.1089/fpd.2009.0302>
- Rasooly, R., Do, P.M., 2010. Shiga toxin Stx2 is heat-stable and not inactivated by pasteurization. *Int. J. Food Microbiol.* 136, 290–294. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.10.005>
- Romano, P., Ricciardi, A., Salzano, G., Suzzi, G., 2001. Yeasts from Water Buffalo Mozzarella, a traditional cheese of the Mediterranean area. *Int. J. Food Microbiol.* 69(1-2), 45-51. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(01\)00571-2](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(01)00571-2)
- Schlessner, J.E., Gerdes, R., Ravishankar, S., Madsen, K., Mowbray, J., Teo, A.Y., 2006. Survival of a five-strain cocktail of *Escherichia coli* O157:H7 during the 60-day aging period of Cheddar cheese made from unpasteurized milk. *J. Food Prot.* 69, 990–998. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-69.5.990>
- Trimboli, F., Costanzo, N., Lopreiato, V., Ceniti, C., Morittu, V.M., Spina, A., Britti, D., 2019. Detection of buffalo milk adulteration with cow milk by capillary electrophoresis analysis. *J. Dairy Sci.* 102(7), 5962-5970. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16194>
- USDA. 1981. USDA specifications for mozzarella cheese. Accessed Sep. 18, 2012. <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/ricottacheeses.pdf>

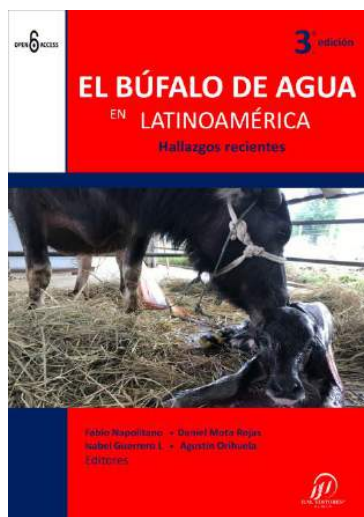
- Zachar, P., Šoltés, M., Kasarda, R., Novotný, J., Novikmecová, M., Marcinčáková, D., 2011. Analytical methods for the species identification of milk and milk products. *Mljekarstvo*. 61(3), 199-207.
- Zhang, W., Sack, D. A., 2012. Progress and hurdles in the development of vaccines against enterotoxigenic *Escherichia coli* in humans. *Expert Rev. Vaccines*. 11, 677–694. <https://doi.org/10.1586/erv.12.37>



CAPÍTULO 32

TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA MEJORAR LA CARNE Y CON POTENCIAL DE USO EN LA INDUSTRIA DEL BÚFALO DE AGUA

Luis Manuel Carrillo-López, Iván Adrián García-Galicia, Mariana Huerta-Jiménez, Raheel Suleman y Alma Delia Alarcón-Rojo



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3^a. Edición

CAPÍTULO 32

Tecnologías emergentes para mejorar la carne y con potencial de uso en la industria del búfalo de agua

Luis Manuel Carrillo-López¹, Iván Adrián García-Galicia¹, Mariana Huerta-Jiménez¹, Raheel Suleman²
y Alma Delia Alarcón-Rojo¹

¹Facultad de Zootecnia y Ecología (FZyE), Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Chihuahua, México.

²Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, China; and
Department of Food Science and Nutrition. Times Institute, Multan, Pakistán.

INTRODUCCIÓN

La globalización ha conducido a cambios en las prácticas de mercado y producción de alimentos. Con ello, surge la necesidad de disponer de métodos de conservación más eficaces para atender grandes volúmenes de productos cárnicos que garanticen mayor vida útil e inocuidad, libres de aditivos químicos y que sean amigables con el medio ambiente. Para armonizar todas estas demandas sin comprometer la seguridad, es necesario implementar tecnologías de conservación que aceleren el proceso productivo y aumenten la calidad de los productos procesados.

El uso de nuevas tecnologías de conservación y procesamiento de alimentos, particularmente aquellas no térmicas, resultan ser una



excelente alternativa a los métodos tradicionales. La tendencia del consumidor hacia productos cárnicos convenientes y mínimamente procesados representa un reto para el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías de procesamiento. Su uso puede cambiar las opiniones de los consumidores sobre la carne y sus derivados (Singh et al., 2020). Los productos cárnicos procesados a menudo se perciben como alimentos poco saludables debido a la presencia de aditivos tales como el NaCl y los fosfatos, por lo tanto, los productos procesados son excelentes objetivos de reformulación (Pinton et al., 2020). Las tecnologías ecológicas como el ultrasonido, las altas presiones y los campos eléctricos pulsados, han ganado importancia en la industria alimentaria porque pueden modificar la estructura de las proteínas y mejorar sus propiedades funcionales permitiendo reducir el contenido de aditivos en los productos cárnicos.

La producción de carne de búfalo (*Bubalus bubalis*) es muy versátil y presental beneficios tales como producción con bajos requerimientos nutricionales, excelente desarrollo muscular de la especie y excelente calidad nutricional (Alarcón-Rojo et al., 2020; Guerrero Legarreta et al., 2019). La carne de búfalo, especialmente la carne de animales jóvenes, tiene características organolépticas muy favorables como color atractivo, terneza y sabor deseable, las cuales son comparables con la carne de bovino, pero con un bajo contenido de tejido adiposo. A pesar de ello, la industria de la carne de búfalo se encuentra poco difundida y aun en etapas de desarrollo. Las estrategias o tecnologías que se encuentran documentadas para uso en la industria cárnica son:

estimulación eléctrica, ablandamiento mecánico, uso de ingredientes para mejorar la estabilidad o incrementar el valor agregado, utilización de empaques inteligentes, entre los más importantes (Anjaneyulu et al., 2007; Gauri et al., 2017; Kandeepan et al., 2013).

Esta revisión tiene el objetivo de explorar la literatura reciente sobre las tecnologías emergentes de mayor estudio con potencial para la industria cárnica (Figura 1), a fin de investigar su efectividad para la mejora de la seguridad y calidad en los productos cárnicos no solo de especies domésticas tradicionales como bovinos o cerdos, sino también con potencial en la industria de la carne de búfalo. Entre las tecnologías más prometedoras de conservación de la carne se incluyen las altas presiones, el ultrasonido de alta intensidad, los campos eléctricos pulsados y el plasma frío.

PROCESAMIENTO DE ALTAS PRESIONES (PAP)

El PAP es una tecnología que proporciona presiones hidráulicas superiores a 6,000 atm a productos alimenticios sumergidos en medio líquido. Esta se utilizó por primera vez en la industria alimentaria para prolongar la vida útil mediante la inactivación de patógenos transmitidos por los alimentos. Se utiliza ampliamente en Estados Unidos de América (EUA) para conservar alimentos como el guacamole, inactivando microorganismos (moo's) del deterioro como *Listeria monocytogenes*. También se usa para conservar y pelar ostras

y para la "pasteurización" no térmica del jugo de naranja. El PPA se utiliza en EUA en los productos cárnicos para prolongar la vida útil de una amplia gama de productos cárnicos (Meat and Livestock Australia, 2010). El PAP tiene potencial para reducir conteos de bacterias patógenas y el deterioro del producto, sin alterar propiedades sensoriales y nutricionales (Bak et al., 2019; Bhat et al., 2018a).



Figura 1. Las tecnologías con mayor potencial de desarrollo en la industria cárnica

Sin embargo, niveles de altas presiones por encima de 600 MPa, que son recomendados para ultrapasteurización, no son económicamente

viabiles porque afectan negativamente las características de calidad del producto cárnico (Hygreeva et al., 2016). El PAP también puede ser utilizado para mejorar la terneza de la carne (Bhat et al., 2018b; Zybert et al., 2019; Morton et al., 2017), pero su implementación ha sido limitada porque el efecto sobre la textura es multifactorial. Las condiciones de operación como la presión aplicada, la temperatura, el tiempo, el músculo y el período de maduración, son factores que deben considerarse para la aplicación exitosa del PAP. La aplicación de PAP promueve la decoloración excesiva de la carne (Bak et al., 2019).

Efectos en la inactivación microbiana

Los productos cárnicos han sido considerados como la causa principal de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA's). Los patógenos comúnmente asociadas con las ETA's incluyen; *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli* (Hygreeva et al., 2016). La utilidad del PAP para la inactivación de moo's y la prolongación de la vida útil se ha estudiado desde hace dos décadas. Hugas et al. (2002), reportaron que la aplicación de PAP (600 MPa / 10 min, 30 °C) puede extender la vida útil de lomo de res marinado, controlando efectivamente el crecimiento de patógenos y el deterioro. Otros estudios han reportado la combinación de PAP con otras tecnologías. El PAP combinado con alta temperatura (APAT) constituye una alternativa para la ultra-pasteurización convencional, porque permite la inactivación de patógenos en fase vegetativa y esporas. La

inactivación de *Serratia liquefaciens* en jamón curado en seco, es posible con la combinación de presiones de 650 MPa y tiempos de retención de 8 min (Belletti et al., 2013). El PAP puede extender la vida útil hasta en un 51% en salchichas con bajo contenido de sal, mientras que en jamón cocido con sal, la vía útil se incrementa hasta en un 97%, en comparación con las muestras no tratadas, sin cambios significativos en la aceptabilidad sensorial (O'Neill et al., 2018). Martínez-Onandi et al. (2019) reportaron niveles microbianos significativamente bajos en jamones tratados con PAP. Taddei et al. (2020) también reportaron que el PAP disminuyó el recuento de *Listeria innocua*, mientras que Bonilauri et al. (2019) observaron que el PAP redujo los conteos de *Salmonella* (2.41–5.84 log₁₀ UFC/g) en salami al final del curado. Esta reducción fue inversamente proporcional a la actividad de agua (a_w). Lee et al. (2019) mostraron que la adición de 1% de vinagre (p/v) y el tratamiento con presiones de 500 MPa (cuatro ciclos de 3 min) puede reemplazar al nitrito de sodio en la inhibición del crecimiento de *Clostridium perfringens* en salchichas tipo emulsión, sin efectos negativos en la calidad.

Efectos en las propiedades fisicoquímicas

El efecto del PAP sobre las propiedades fisicoquímicas de los productos cárnicos ha sido investigado ampliamente. El uso de empaques con alto contenido de oxígeno conserva el color de la carne sub-presurizada. Sin embargo, la carne empacada en envases con alto

contenido de oxígeno es más susceptible a la oxidación de lípidos y proteínas causando cambios en el color y en la calidad sensorial. Panea et al. (2020) reportaron que la combinación de PAP con marinado y envasado activo influyen en el color y el esfuerzo de corte de la carne. Los efectos de la presión y el marinado fueron mayores al efecto del empaque. En los tratamientos presurizados la luminosidad (L^*) se incrementó significativamente en comparación con los tratamientos no presurizados. L^* incrementó conforme se incrementó el tiempo de almacenamiento, principalmente en los tratamientos con marinado e independientemente de la aplicación de presión. Consecuentemente, las muestras no presurizadas y marinadas presentaron un incremento en L^* y tendencia al rojo (a^*), mientras que en las muestras presurizadas el marinado no tuvo efecto sobre el color. Las muestras presurizadas siempre mostraron valores más altos de esfuerzo de corte (71% más alto) en comparación a las muestras no presurizadas.

Kaur et al. (2016) observaron que *Longissimus dorsi* bovino tratado con PAP y digerido con pepsina durante 60 min tuvo menos proteínas o péptidos de alto peso molecular, en comparación con las carnes no tratadas, debido a la degradación de las proteínas a presiones de 600 MPa. Sobre esto, existe preocupación por la migración de compuestos desde los envases de plástico hacia el producto cárnico cuando se aplica el PAP al producto envasado. Rivas-Cañedo et al. (2009) estudió el efecto del PAP y del material de empaque (plástico) en carnes frescas, evidenciando que si la mayoría de los compuestos en los plásticos fueran lipofílicos, éstos podrían migrar hacia la carne,

resultando en un efecto potencialmente dañino para la salud humana. Tamm et al. (2016) observaron que la aplicación del PAP en carne cruda o después de la inyección es perjudicial para la estructura y retención de agua de jamón cocido reducido en sal. Esos autores reportaron que el jamón cocido tuvo una reducción de sal hasta del 45% con presiones de 100 MPa después del masajeo, en combinación con cloruro de potasio (0.2%).

El PAP produce decoloración en carne de res, cordero, cerdo y aves. Bak et al. (2017) mencionan que el PAP provoca la desnaturalización de las proteínas miofibrilares seguida de agregación, cambiando la reflectancia de la superficie y aumentando la luminosidad. Los cambios de color en la carne ocasionados al PAP también pueden deberse al calentamiento adiabático de la carne (Ma et al., 2013) y a los cambios en la tasa de consumo de oxígeno (McKenna et al., 2005). Las tasas de consumo de oxígeno más bajas permiten una mayor penetración de oxígeno en el músculo, lo que resulta en un color más estable (McKenna et al., 2005).

En cuanto a la oxidación de los componentes de la carne, Kantono et al. (2020) exploraron el efecto de la presión (200-600 MPa) en la oxidación de lípidos, ácidos grasos (AG's) y contenido de aminoácidos (AA's) libres de cortes de carne de cordero. Presiones de 400 y 600 MPa resultaron en valores de oxidación más altos en ojo de la costilla, lomo, codillo y filete. El contenido de AG's saturados y monoinsaturados fue significativamente menor con el tratamiento del PAP, en la mayoría de los cortes en todas las presiones evaluadas.

Además, se observó un incremento del contenido de aminoácidos libres en la mayoría de las muestras tratadas con el PAP.

En la industria del jamón, el PAP se utiliza para el control microbiano y para mejorar la textura. Pietrzak et al. (2007) demostraron que el PAP mejoró significativamente la vida útil del jamón cocido de cerdo envasado al vacío. Los tratamientos incluyeron un nivel bajo de ingredientes de curado en la salmuera, y se mantuvieron durante 8 semanas en condiciones de refrigeración (4-6 °C), sin efecto significativo en la textura ni el color del jamón. Sin embargo, el PAP aumentó significativamente las pérdidas por goteo durante el almacenamiento empaquetado. Duranton et al. (2011) obtuvieron salchichas estables a 500 MPa de presión y 115 °C por 30 min. Sin embargo, no se reportaron mejoras de la calidad en comparación con el procesamiento convencional. Kim et al. (2013) encontraron un incremento en el contenido de agua y peso, además de una reducción del esfuerzo de corte de jamón de cerdo, cuando combinaron PAP con NaHCO₃. El contenido de AA's libres de la carne aumentó con la combinación de NaHCO₃ y el PAP. El mayor efecto se observó cuando se utilizaron 300 MPa. La carne tratada con PAP después del tratamiento con NaHCO₃ resultó más tierna, jugosa y con buen sabor. Garcia-Gil et al. (2014) demostraron que el tratamiento con 500 MPa disminuyó la suavidad de m. *Semimembranosus* del jamón curado y modificó su microestructura. La presurización tuvo mayor efecto en *B. femoris* que en *Semimembranosus*.

En cuanto al aroma, Martínez-Onandi et al. (2017) investigaron el efecto del PAP (600 MPa) sobre los compuestos volátiles de 30 jamones ibéricos curados en seco, demostrando un mayor efecto de PAP sobre los compuestos volátiles que sobre las características fisicoquímicas. Coll-Brasas et al. (2019) aplicaron PAP (600 MPa, 6 min, 7 °C, 20 °C y 35 °C) en muestras de jamón curado con diferentes características texturales. El PAP produjo un aumento en la dureza y L^* y una disminución en la suavidad/pastosidad y la tendencia al color rojo (a^*), independientemente de la temperatura de procesamiento. Zhu et al. (2019) mostraron que el PAP incrementa el rendimiento de chuletas de cerdo reestructuradas hasta en 18.22%. Se reportaron mejoras en la blandura y mejor organización de las miofibrillas, así como reducción en el diámetro de las miofibrillas mediante masajeo con presión. El masajeo puede modificar la conformación de la proteína al aumentar la cantidad de estructuras de α -hélice y lámina- β , sin modificación de la estructura secundaria de las proteínas.

Efecto en la oxidación lipídica y las características sensoriales

El PAP se ha descrito como una herramienta poderosa para el desarrollo de productos alimenticios nuevos y/o mejorados (Huang, et al., 2017). Sin embargo, se han encontrado algunos problemas en productos cárnicos frescos cuando se procesan a altas presiones. Pérez-Santaescolástica et al. (2019) estudiaron el efecto del PAP en

jamón curado en seco, con el objetivo de optimizar la técnica y reducir el impacto en las características químicas relacionadas con los parámetros sensoriales. El PAP a 35 °C aumentó significativamente el contenido total de aminoácidos libres en comparación con los controles y el PAP a 20 °C. Las muestras tratadas con PAP a 35 °C mostraron un contenido más alto de compuestos volátiles, cetonas y ésteres. Previamente (Sazonova et al., 2017) se había reportado que las presiones entre 300 y 600 MPa causaron modificaciones en el contenido lipídico y en la composición de AG's de fosfolípidos y AG's libres en algunos productos cárnicos procesados.

McArdle et al. (2010) observaron que la temperatura de procesamiento tuvo efecto en la suma de ácidos grasos saturados (SFA), ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA). Temperaturas de 40 °C produjeron un mayor contenido de SFA y PUFA y menor contenido de MUFA, en comparación con 20 °C. Sin embargo, He et al. (2012) encontraron que presiones mayores a 350 MPa causaron lipólisis de fosfolípidos intramusculares y aumento en el contenido de AG's libres en carne de cerdo. El contenido de PUFA también disminuyó debido a las pérdidas de ácido linoleico, linolénico y araquidónico. Wang et al. (2013) también observaron una pérdida de PUFA en muestras de grasa corporal de yak tratadas con el PAP, produciendo perfiles de ácidos grasos menos favorables durante el almacenamiento. El almacenamiento en frío (20 d) de las muestras tratadas a 400 y 600 MPa causó un aumento de oxidación de lípidos (TBARS, sustancias

reactivas al ácido tiobarbitúrico) y redujo las proporciones de PUFA/AGS y n-6/n-3 y la calidad sensorial.

Yang et al. (2018) investigaron el efecto del PAP (150-300 MPa, 15 min) sobre la oxidación, lipólisis y perfil volátil de carne de cerdo marinada en salsa de soya. El PAP promovió la oxidación de lípidos, la permeación de la salmuera y la inhibición en la fermentación de carbohidratos. López-Pedrouso et al. (2019) revelaron que las condiciones de altas presiones aumentan la proteólisis y disminuyen el contenido de aldehídos (pentanal, hexanal, heptanal y nonanal), lo cual podría mejorar el sabor de los jamones curados en seco. La oxidación lipídica y la proteólisis son procesos fundamentales en la calidad del jamón serrano curado en seco. Rivas-Canedo et al. (2021) reportaron que el PAP (600 MPa, 6 min) incrementó los índices de peroxidación lipídica en jamones serranos madurados por 5 meses a 4 °C. La composición química de los jamones tuvo efecto en la oxidación lipídica y en la proteólisis, cuyos valores fueron mayores en jamones con un contenido medio/alto de grasa intramuscular (GIM) y en jamones de bajo/medio contenido de sal.

EL CAMPO ELÉCTRICO PULSADO (CEP)

El CEP se está investigando en carne con fines de conservación, así como en la mejora de las propiedades funcionales del producto, para la aceleración de procesos como el secado, el curado y la congelación.

El CEP ha atraído la atención de científicos y tecnólogos de la carne debido a su capacidad para modificar la estructura de la membrana y mejorar la transferencia de masa (Bhat et al., 2018a, Bhat et al., 2018b; Kopuk et al., 2020). Varios estudios han confirmado el potencial del CEP para mejorar la blandura de la carne en los músculos, tanto antes del rigor como después del rigor durante la maduración. Se ha sugerido que el potencial del CEP para mediar en el proceso de ablandamiento se debe a la liberación de iones calcio y la activación temprana de las calpaínas por alteraciones en la membrana. Estudios recientes han informado un aumento de la proteólisis *post-mortem* en los músculos tratados con CEP durante la maduración. También se ha observado que el CEP acelera el curado, mejora el secado y reduce la cantidad de patógenos y organismos de descomposición en la carne, aunque eso exige condiciones de procesamiento intensas.

Efecto en características de calidad

Faridnia et al. (2015) estudiaron los efectos de la congelación como pre-tratamiento previo al CEP sobre la calidad del músculo *Semitendinosus* bovino. Las muestras frescas y congeladas-descongeladas se trataron utilizando pulsos bipolares de onda cuadrada a una intensidad de campo eléctrico de 1.4 kV/cm, ancho de pulso de 20 μ s, frecuencia de 50 Hz y energía específica total 250

kJ/kg. El CEP provocó cambios microestructurales significativos en el tejido de la carne en comparación con la congelación. La combinación de congelación-descongelación y CEP dio como resultado una mejor terneza (reducción del esfuerzo de corte), no observada con el CEP por sí solo. El CEP aumentó significativamente la pérdida por agua, pero no las pérdidas por cocción. Un incremento en dos unidades logarítmicas para los recuentos microbianos aeróbicos durante la fase logarítmica en las muestras tratadas con CEP congeladas y descongeladas fue asociada positivamente con una mayor pérdida de agua. El CEP por sí mismo no afectó las proporciones PUFA/SFA y omega 6/omega 3, ni los perfiles de ácidos grasos (AG's) libres.

Los beneficios potenciales del CEP en el procesamiento de carne fresca han sido reportados desde hace algunos años. Bekhit et al. (2014) investigaron el efecto del CEP sobre la calidad de los lomos de ternera (*Longissimus lumborum*, LL) a 1 d *post-mortem* y la superficie de *Semimembranosus* (SM) a 1 y 3 d *post-mortem* utilizando una variedad de combinaciones de tratamiento (voltajes de 5 y 10 kV, frecuencias de 20, 50 y 90 Hz). La terneza del lomo se beneficiaba con el CEP (reducción del 19.5% en la fuerza de corte), independientemente de la entrada eléctrica, mientras que el nivel de terneza de las superficies superiores se incrementó al aumentar la frecuencia del tratamiento (4.1, 10.4 y 19.1% reducción de la fuerza de corte a 20, 50 y 90 Hz, respectivamente). En las muestras tratadas con CEP se encontraron mayores pérdidas de agua y menores pérdidas por cocción. Es interesante observar que el nivel de mejora de la terneza de SM no

dependió del tiempo *post-mortem* de la carne hasta por 3 d, lo que permite una mayor flexibilidad en el uso de la tecnología del CEP.

Ma et al. (2016) estudiaron los efectos del enfriamiento y la congelación antes del procesamiento del CEP sobre el perfil volátil y los atributos sensoriales de diferentes músculos del cordero cocido (paleta, costilla y lomo). Las muestras de cordero fueron tratadas con una intensidad de campo eléctrico de 1–1.4 kV/cm, energía específica de 88– 109 kJ/kg, frecuencia de 90 Hz, ancho de pulso de 20 μ s y número de pulso de 964. Los resultados mostraron que el tiempo de almacenamiento prolongado y el pre-tratamiento congelado-descongelado condujeron a aumentos significativos de compuestos volátiles debido a la oxidación de lípidos y proteínas. El CEP también resultó en cambios significativos de compuestos volátiles en diferentes cortes de carne. El almacenamiento y el CEP afectaron el sabor temporal de los atributos de sabor carnosos y oxidados. Un período de almacenamiento más prolongado se asoció con un sabor oxidado, mientras que las muestras tratadas con CEP se asociaron con atributos de sabor tostado, jugoso, a hígado y carne.

Alahakoon et al. (2018) utilizaron regresión múltiple para modelar el efecto del CEP (intensidades de campo eléctrico 0.7, 1.0 o 1.5 kV/cm) y el procesamiento al vacío (60 °C durante 12, 18 o 24 h) sobre los parámetros de calidad de la falda de res. Los CEP a 0.7 kV/cm y 1.5 kV/cm seguidos de procesamiento al vacío durante 12-20.2 y 20.8-23.7 h, respectivamente, produjeron los valores más bajos para dureza (< 20.2 N), fuerza de corte (100.5 N/mm/s) y pérdidas por cocción (<

17.4%). El tratamiento con CEP antes del procesamiento al vacío no tuvo efectos significativos sobre la oxidación de lípidos, la estabilidad del color, las pérdidas por cocción o la digestibilidad de proteínas *in vitro* de la falda procesada al vacío. El pre-tratamiento con CEP puede reducir el tiempo de procesamiento al vacío mientras mejora la terneza de los cortes de carne duros.

Ermoshin et al. (2020) propusieron el diseño del equipo para el ablandamiento electrohidráulico de la estructura de productos semi-acabados de carne en pieza entera (1,500-2,000 g) y en porciones (80-120 g), y mejorar la distribución de salmuera. Se estableció el impacto electrohidráulico (frecuencia de pulsos $v = 0.5-1.0$ pulso/s) y el número de pulsos (150 a 200) que se pueden utilizar para ablandar el tejido conectivo muscular y los tendones tanto de carne refrigerada (temperatura central de 0 °C a 4 °C) como sub-congelada (de -2 °C a 3 °C).

Jeong et al. (2020) investigaron los efectos de un proceso consecutivo con CEP, cocción al vacío y recalentamiento, en el músculo *Semitendinosus* de res. Se utilizó CEP con diferentes intensidades de campo eléctrico (1.0, 1.5 y 2.0 kV/cm). Posteriormente la carne de res control y pre-tratada con CEP fue cocinada al vacío a 60 °C hasta por 24 h. El pre-tratamiento con CEP resultó en un ablandamiento de la carne fresca, proporcional al aumento de la intensidad del campo eléctrico. El CEP a 2.0 kV/cm disminuyó la fuerza de corte (hasta en 35%), la dureza y la masticabilidad de la carne. Después de la cocción al vacío, el CEP redujo la fuerza de corte, la tendencia al rojo (a^*) y el

contenido de mioglobina, pero no afectó las pérdidas por cocción y por goteo. Cuando la carne cocida al vacío se recalentó a 230 °C por 5 min, se retuvo la reducción de la fuerza de corte inducida por el CEP.

Efecto en aceleración de procesos

La electro-permeabilización de las membranas celulares, que conduce a un aumento de las tasas de transferencia de masa, se puede utilizar para mejorar las tasas de secado del tejido celular. Sunil et al. (2018) reportaron que un aumento en las tasas de transferencia de masa resulta en un transporte de agua más rápido a la superficie del producto y, por lo tanto, la reducción del tiempo de secado después de un tratamiento previo conducirá a un ahorro drástico de energía y una mejor utilización de las capacidades de producción durante el secado por aire convectivo. Teniendo en cuenta el bajo aporte de energía requerido para un tratamiento de campo eléctrico pulsado de tejido animal (2-20 kJ/kg), es evidente que existe la posibilidad de reducir el aporte total de energía para el secado del producto.

El CEP acelera el proceso de secado de productos cárnicos. Astráin-Redín et al. (2019) aplicaron el CEP en lomo de cerdo para longaniza y observaron que con la aplicación de 1 kV/cm, 200 μ s de ancho de pulso y 28 kJ/kg se mejoró la transferencia de agua al lograr una reducción del contenido de humedad del 60.4% en muestras de carne tratada y secadas a 4 °C. También se estudió la influencia del CEP en la

velocidad de secado en carne de cerdo picada y se observó que con un tamaño de partícula de 4.0 mm se lograron velocidades de secado más altas. Para validar los resultados, se prepararon embutidos curados españoles a partir de carne de cerdo picada tratada y sin tratar y se embutieron en gasas y tripas naturales de cerdo a escala de planta piloto. Después del proceso de curado, la aplicación del CEP a embutidos en grasa redujo el tiempo de secado de 17 a 9-10 días (reducción del 41-47%), confirmando los efectos descritos a escala de laboratorio y el potencial del CEP para acelerar el proceso de secado de las salchichas.

Bhat et al. (2019) investigaron el potencial del CEP como una estrategia de reducción de sodio para carne procesada. Utilizaron carne seca como modelo, con diferentes niveles de NaCl (2.0% como control, 1.2% y 1.2 %), junto con procesamiento CEP. Se observó un efecto significativo del CEP sobre la fuerza de corte de los productos, lo que también se reflejó en las respuestas sensoriales. No se observaron efectos para el CEP sobre el color, el rendimiento y la estabilidad oxidativa y microbiana. Las muestras tratadas con CEP tuvieron un contenido de sodio significativamente más bajo que el control. Sin embargo, sensorialmente fueron comparables con el control, de manera que más del 84% de los panelistas prefirieron las muestras tratadas con CEP por su salinidad. Los resultados sugieren que el tratamiento con CEP mejoró la salinidad al influir en la difusión de la sal y el suministro de sodio, lo cual condujo a una mejor percepción durante la masticación. El CEP podría ser un método

novedoso para producir productos cárnicos bajos en sodio más saludables.

Dadan et al. (2020) estudiaron el mecanismo de la congelación mediante el uso de crioprotectores solos o con CEP, durante la impregnación al vacío o la deshidratación osmótica. El tratamiento con CEP, debido a la electroporación de las membranas celulares, mejoró la cinética de congelación, pero el grado de reducción del tiempo de congelación dependió de la matriz alimentaria. Por otro lado, la textura de los alimentos después del CEP suele suavizarse y cambiar el color. Este último puede minimizarse mediante el uso de crioprotectores. Estos tratamientos son prometedores debido a la obtención de un producto con textura mejorada, más fresca y con turgencia mantenida después de la descongelación.

El CEP en carnes y pescados puede mejorar los cambios fisicoquímicos y nutricionales, como método de conservación, o bien puede mejorar la extracción de compuestos de alto valor agregado (Gómez et al. 2019; Arshad et al., 2020). Además, el tratamiento con CEP podría utilizarse como una estrategia útil para aumentar las propiedades de retención de agua de los productos pesqueros, así como para el secado del pescado (Gómez et al. 2019). En este sentido, recientemente Arshad et al. (2020) enfatizaron que para el procesamiento industrial de alimentos con CEP, la alta consistencia de esta tecnología es importante para un funcionamiento continuo y un retorno económico de la inversión en un período corto.

PLASMA FRÍO

El nombre “plasma” se utilizó por primera vez cuando describieron este estado de la materia como cerca de los electrodos, donde hay áreas que contienen muy pocos electrones, el gas ionizado contiene iones y electrones en números aproximadamente iguales, de modo que la carga espacial resultante es muy pequeña (Alves-Filho et al., 2020). Comúnmente se nombra plasma para describir esta región que contiene cargas equilibradas de iones y electrones. Posteriormente, la definición se amplió para definir un estado de la materia en el que un número significativo de átomos y/o moléculas están eléctricamente cargados o ionizados.

Los microorganismos patógenos y de descomposición representan un problema para la industria alimentaria, debido a sus importantes riesgos para la salud pública y su impacto económico (Stoica et al., 2011; Afshari y Hosseini, 2014). El plasma atmosférico frío tiene potencial en el sector de la fabricación de alimentos para inactivar microorganismos, mejorando así la seguridad alimentaria.

El plasma se considera el cuarto estado de la materia. El concepto del cuarto estado de la materia resulta de la idea de que las transiciones de fase ocurren al proporcionar progresivamente energía a la materia, como la del estado sólido al estado líquido y al estado gaseoso. Se puede pensar en una transición de fase adicional como la del estado de gas al estado de plasma, incluso si estos estados se alcanzan gradualmente al proporcionar más y más energía al sistema. El plasma puede verse como un gas ionizado particular, que conserva algunas

características únicas que lo distinguen de un gas ideal (Alves-Filho et al., 2020).

Plasma es un término que se refiere al gas completamente ionizado compuesto por varias sustancias como fotones y electrones libres, junto con átomos en estado excitado que tienen carga neutra. El plasma tiene una carga neta neutra debido a su igual número de iones positivos y negativos (Kudra y Majumdar, 2009). El plasma frío es una nueva tecnología no térmica de procesamiento de alimentos que utiliza gases reactivos energéticos para inactivar los microbios contaminantes en carnes, aves, frutas y verduras. Este método de desinfección flexible utiliza electricidad y un gas portador, como aire, oxígeno, nitrógeno o helio. No se requieren agentes químicos antimicrobianos. Los principales modos de acción se deben a la luz ultravioleta y los productos químicos reactivos del proceso de ionización por plasma frío. Se están desarrollando una amplia gama de sistemas de plasma frío que funcionan a presiones atmosféricas o en cámaras de tratamiento de baja presión.

Beneficios sobre otras tecnologías de seguridad alimentaria

El plasma frío atmosférico (PFA) es una tecnología emergente en la industria alimentaria con un enorme potencial antimicrobiano para mejorar la seguridad y extender la vida útil de los productos alimenticios. La descarga de barrera dieléctrica (DBD) es un enfoque

popular para generar PFA. Gracias a las numerosas ventajas de DBD-PFA, está demostrando ser exitoso en varias aplicaciones, incluida la descontaminación microbiana de alimentos (Feizollagi et al., 2020).

A diferencia de la luz, el plasma fluye alrededor de los objetos, lo cual garantiza que se traten todas las partes de un producto. Para productos como verduras cortadas y carne fresca, actualmente no existe una tecnología de descontaminación suave de superficies. Se podría utilizar plasma frío para este propósito. El plasma frío también podría usarse para desinfectar envases y superficies en el proceso de envasado (Sunil et al., 2018). La tecnología de plasma atmosférico (PFA) requiere unos cientos de vatios de potencia y un suministro de aire comprimido u otro gas, a veces se usa una mezcla de gases dependiendo de la especie de gas reactivo que se genere. El PFA puede generar moléculas bactericidas de manera muy eficiente con aumentos de temperatura del producto inferiores a 5 °C. El PFA ofrece una serie de ventajas sobre las tecnologías de seguridad alimentaria existentes, que incluyen las siguientes: 1) es un proceso seco; 2) es fácilmente adaptable a un entorno de fabricación de alimentos; 3) requiere muy poca energía; 4) las especies de gas reactivo vuelven a su estado original en minutos u horas después del tratamiento y 5) requiere tiempos de tratamiento cortos (Sunil et al., 2018).

El plasma frío como nueva tecnología de procesamiento de carne

La literatura sobre aplicaciones del plasma frío en la carne es escasa. Algunos estudios muestran la aplicación de esta tecnología en el procesado de carne de pollo y cerdo. Lee et al. (2020) evaluaron los efectos del tratamiento con plasma frío de descarga de barrera dieléctrica atmosférica (ADCP) calidad de carne de pollo. El tratamiento con ADCP a 24 kV durante 3 min inactivó las bacterias aerobias mesófilas naturales, y *Salmonella*. El tratamiento con ADCP no afectó el contenido de nitrito de la carne. El tratamiento con ADCP no alteró el pH, el color, el nitrógeno básico volátil total, la oxidación de lípidos y la terneza de la carne durante el almacenamiento a 4 y 24 °C, sin cambios en las propiedades sensoriales de la carne por un período de almacenamiento de 3 días a 4 °C. Esos autores concluyeron que el tratamiento con ADCP tiene el potencial de aplicarse como un método para aumentar la seguridad microbiológica de los productos de pollo envasados listos para el consumo, lo que conduce a una seguridad toxicológica general.

Yong et al. (2017) investigaron la aplicabilidad del PFA como alternativa al nitrito de sodio (100 ppm) en fabricación de cecina de cerdo. Las rodajas de cerdo se marinaron en salmuera sin nitrito de sodio a 4 °C durante 16 h y se trataron por PFA durante 0, 20, 40 y 60 min, respectivamente. A medida que aumentaba el tiempo de tratamiento con PFA, el color rojo, el pigmento de nitrosilhemocromo y el contenido de nitrito residual aumentaron, mientras que la

oxidación de lípidos disminuyó. Se observaron propiedades de calidad similares, en particular el color, en la cecina aplicada por PFA durante 40 min en comparación con la cecina hecha con nitrito de sodio. Después de la inoculación de cerdo adobado con *Staphylococcus aureus* o *Bacillus cereus*, las cantidades de ambos patógenos en cecina aplicadas por PFA durante 40 y 60 min fueron significativamente menores que en la cecina hecha con nitrito de sodio. En consecuencia, el PFA se puede aplicar para fabricar cecina de cerdo más segura y sin nitrito de sodio añadido. En un estudio similar de Lee et al. (2018) investigaron el uso del tratamiento con plasma a presión atmosférica como proceso de curado para el jamón molido enlatado. Los tratados con plasma durante 30 min no mostraron diferencias en cuanto al nitrosil-hemocromo, color, nitrito residual, textura, oxidación de lípidos y oxidación de proteínas, en comparación con los jamones curados con nitrito de sodio o apio en polvo. Por lo tanto, los autores concluyeron que el jamón molido en conserva puede curarse mediante plasma a presión atmosférica sin aditivos de nitrito.

Ingluglia et al. (2020) evaluaron el potencial de la salmuera activada por PFA como fuente de nitrito para el curado de cecina. Se monitorearon los efectos del PFA sobre los parámetros de calidad y sobre la reducción microbiana de *Listeria innocua* inoculada. Las rodajas de carne fueron curadas durante 18 h a 4 °C en soluciones de salmuera que contenían 0, 100 o 150 ppm de nitrito de sodio, 150 ppm de cloruro de sodio (NaCl) y 100 ppm de azúcar, y sometidas a tratamiento con plasma. El PFA se generó mediante un sistema de haz

de plasma que funcionaba a 20 kHz y se suministraba con aire o gas nitrógeno (N₂). Los resultados mostraron niveles significativamente más altos de nitritos en salmueras activadas por aire-plasma (90–184 ppm) en comparación con el gas N₂ (3–17 ppm). No se encontraron diferencias significativas en la textura y en los niveles de oxidación de lípidos de las muestras curadas en PAB en comparación con el curado estándar. Sin embargo, se encontró un valor a* (tendencia al color rojo) significativamente mayor en muestras curadas en PAB. Se observaron reducciones significativas de 0.5 log CFU/mL en la población de *L. innocua* en las salmueras y 0.85 log CFU/g de reducción en la cecina cuando fue curada con PAB. Estos resultados mostraron que el curado con plasma podría proporcionar una fuente adecuada de nitrito para los productos cárnicos. Una mayor optimización de la tecnología podría tener aplicaciones potenciales para la descontaminación de la carne.

Luo et al. (2019) investigaron la aplicación de agua, tratada con plasma frío de descarga de barrera dieléctrica (DBD-CP), como un nuevo proceso de curado para la fabricación de lomo seco de cerdo. El tiempo de tratamiento de DBD-CP fue optimizado en función del pH y del nivel de nitrito del agua tratada con plasma (ATP). El agua tratada con plasma durante 3 min tenía un ambiente alcalino y un contenido de nitrito más alto que en los otros tratamientos. Los lomos de cerdo se marinaron en salmuera de control o con ATP a 4 °C durante 24 h, y luego se maduraron en seco durante 15 días. El ATP con un voltaje de tratamiento más alto disminuyó significativamente la oxidación de

lípidos de los productos y condujo a un valor de a^* aumentado (enrojecimiento) y un contenido de nitrito residual aumentado en los productos que todavía estaban dentro del rango de uso. El contenido de cada aminoácido libre aumentó al incrementarse la intensidad del tratamiento. Se generaron 22 nuevos compuestos volátiles en los productos curados de ATP, como el 3-metilbutanol, el hexanal y la 2,3-octanodiona, mientras que se perdieron seis sustancias, como el 2-pentifurano, en comparación con el control. Este estudio indica que el uso de ATP como método de curado puede ser una forma potencial y eficaz de producir productos de carne seca de cerdo.

Luo et al. (2020) investigaron la influencia del plasma frío de descarga de barrera dieléctrica (DBD-CP) en la estructura y capacidad de unión de compuestos aromáticos de proteínas miofibrilares (MP) extraídas de tocino curado seco. Las MP se trataron con DBD-CP a 0, 50, 60 y 70 kV durante 150 s, para monitorear la capacidad de unión con compuestos aromáticos como el 3-metil-butanal, el 2-metil-butanal, nonanal, heptanal y octanal, la microestructura primaria y los cambios de estructura secundaria de MPs usando GC-MS, SDS-PAGE, microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía FTIR. La espectroscopía FTIR reveló una disminución en la estructura de las hélices α y un incremento en la porción de láminas β y espirales aleatorias para todos los tratamientos, de manera que el contenido relativo de láminas β no tuvo diferencias significativas entre los tratamientos. La capacidad de unión de los compuestos aromáticos de las MP aumentó cuando el voltaje se incrementó desde 50 kV hasta 70

kV, probablemente debido a las diferentes modificaciones en la estructura y superficie de la proteína. Además, los sistemas de oxidación generados por el tratamiento DBD-CP aumentaron la hidrofobicidad y el despliegue de las MP. El resultado también mostró que los aminoácidos hidrófobos aumentaron conforme se incrementó el voltaje (desde 50 kV hasta 70 kV), lo que podría estar relacionado con la mejora de la capacidad de unión. Este estudio demostró que DBD-CP podría explotarse para modificar la funcionalidad de las MP y mejorar el sabor de los productos cárnicos.

ULTRASONIDO

Una de las tecnologías emergentes de procesamiento mínimo con gran potencial en la industria de alimentos es el ultrasonido, que es considerado como una energía mecánica no-ionizante, no-invasiva y no-contaminante, prometedora para los procesos de producción de alta calidad (Gallego-Juárez et al., 2010). En algunos procesos industriales el ultrasonido está siendo aplicado con éxito. Las ondas acústicas se definen como un fenómeno ondulatorio producido al inducir fuerza a una partícula. Al vibrar, la partícula se desplaza y colisiona con otra, transfiriéndole parte de su energía y provocando que la colisión con otras partículas. De esta forma el fenómeno oscilatorio se propaga por el medio en forma de ondas. Se llama ultrasonido cuando las ondas se propagan con una frecuencia superior

al umbral de detección del oído humano (20 kHz) (Mason et al., 1996). Las ondas ultrasónicas de alta potencia al atravesar un medio elástico generan cavitación acústica, que consiste en el crecimiento y colapso de burbujas de gas en un medio líquido. Este fenómeno puede producir una serie de efectos en materiales y tejidos biológicos (Mason y Lorimer, 2002).

Aplicación en alimentos

El ultrasonido tiene aplicaciones para mejorar la calidad y alargar la vida de anaquel de los alimentos frescos y procesados (McClements, 1995). Su uso se divide en dos categorías: ultrasonido de baja intensidad ($< 1 \text{ Wcm}^{-2}$) con alta frecuencia ($> 1 \text{ MHz}$) y ultrasonido de alta intensidad ($> 5 \text{ Wcm}^{-2}$ o $10\text{-}1000 \text{ W/cm}^2$) con baja frecuencia (20 kHz hasta aproximadamente 1 MHz). El ultrasonido de baja intensidad y alta frecuencia se usa en las pruebas no-destructivas como son el diagnóstico veterinario y los programas de mejora genética, así como para garantizar la calidad y el control de procesos con orientación en las propiedades fisicoquímicas de los alimentos (Mason y Lorimer, 2002; Kentish y Ashokkumar 2011; Fellows, 2000; Mason et al., 2011). Entre éstos se puede citar la evaluación de la composición de los productos cárnicos, pescado y aves, y el control de calidad de vegetales, quesos, aceites, pan, y cereales. El ultrasonido de alta intensidad y baja frecuencia, también llamado “ultrasonido de

potencia”, es más eficaz en la conservación de alimentos debido a sus efectos mecánicos, químicos y bioquímicos. Por lo tanto, se utiliza para modificar las propiedades fisicoquímicas y mejorar la calidad de los diversos sistemas alimentarios durante el procesamiento.

Marinado o curado

El ultrasonido es una tecnología que puede tener utilidad en el proceso de marinado de la carne. Se ha demostrado que las ondas acústicas en sistemas sólido-líquido aumenta la cinética de transferencia de masa mediante la ruptura física de los tejidos, generando microcanales y produciendo cambios en los gradientes de concentración y en los coeficientes de difusión (Mason et al., 2005; Chemat et al., 2011; Carcel et al., 2011). Cárcel et al. (2007) evaluaron tres tratamientos de curado estático utilizando salmuera saturada de NaCl, con agitación y vacío, y con la aplicación de ultrasonido a baja frecuencia con intensidad variable. No encontraron diferencias significativas en la humedad ni en el contenido de NaCl en las muestras tratadas en condiciones estáticas y de agitación. La transferencia de masa en el salado de carne dependió de la intensidad (39 y 51 W/cm²), de manera que el transporte de masa fue directamente proporcional a la intensidad del ultrasonido. Al salar carne con asistencia de ultrasonido también se mejoran las propiedades de textura y la capacidad de retención de agua de la

carne (Siró et al., 2009). Contrariamente, en un estudio con ultrasonido de baja intensidad para el marinado de carne de pollo Smith (2011) encontró que la carne tuvo menor absorción de agua, menor pérdida por goteo y menor rendimiento de cocinado en comparación con el marinado estático. Se conoce que con intensidades bajas (Mulet et al., 2003) el campo ultrasónico producido puede ser irregular, es decir que en algunas zonas puede haber más energía que en otras. Por esto, los resultados de diferentes autores no siempre concuerdan. Otros factores que pueden influir en los experimentos con carne son el tipo de músculo, la edad y madurez de los animales, así como las características ultrasónicas utilizadas. En carne de cerdo tratada con ultrasonido, Ozuna et al. (2013) reportaron un mayor contenido de agua y mejor distribución de sal en el músculo sonificado. González-González et al. (2017) encontraron que el tratamiento con ultrasonido en carne de res (40 kHz, 11 Wcm⁻²) no incrementó la aceptabilidad sensorial, a pesar de que hubo mayor uniformidad en la distribución de sales en el músculo. Esto probablemente se debió a que hubo menor transferencia de sales (% en peso) en las muestras sonicadas que en la carne marinada convencionalmente por inmersión. Sobre esto, Cruz-Garibaldi et al. (2019) reportaron que la transferencia de masa en el músculo es dependiente del tamaño del músculo, de manera que cubos de carne de cerdo de 3 cm³ ganaron más peso y tuvieron menos contenido de sal que aquellos de 5 cm³, cuando fueron tratados con ultrasonido en sistema de sonda. También observaron tonos más rojos y brillantes en

comparación con el músculo marinado por inmersión, que tuvo tonos naranjas. A pesar de la discrepancia de los pocos resultados disponibles, el ultrasonido se puede considerar como una tecnología con potencial para el marinado de la carne.

Color de la carne

El color es la primer característica observada y tomada en cuenta para la aceptación por el consumidor. Un color rojo brillante en carne fresca de res, está relacionado con una mayor frescura, jugosidad y aceptación (Alarcon-Rojo et al., 2018; Alarcon-Rojo et al., 2019). Se encuentra determinado principalmente por la cantidad de mioglobina y la configuración de la misma. El efecto que tiene el ultrasonido en el color de la carne es dependiente tanto de las condiciones del equipo de ultrasonido como de las características de la muestra. Mientras que Sikes et al. (2014) y Alves et al. (2018) no reportaron ningún efecto en la desnaturalización de proteínas y pigmentos en músculo del cuello de res y *Semitendinosus* bovino tratados con ultrasonido, Carrillo-López et al. (2019) encontraron que el ángulo de tono se incremento significativamente produciendo tonos naranjas en *Longissimus dorsi* bovino tratado con ultrasonido (16 Wcm^{-2} , 20 o 40 min). En otro estudio, Caraveo et al. (2015) también encontraron una reducción en a^* (tendencia al rojo) y un incremento en la luminosidad (L^*) de carne de res tratada con ultrasonido (11 W/cm^2 por 60 o 90 min).

Blandura

La blandura es una de las características más estudiadas y deseables en la carne. Se ha propuesto que la cavitación acústica puede inducir ruptura mecánica en la estructura muscular, resultando el incremento en la blandura de la carne. Además, podría ayudar a reducir el periodo de maduración sin comprometer otros parámetros de calidad (Jayasooriya et al., 2007; Dolatowski et al., 2007; Peña-Gonzalez et al., 2017; Peña-Gonzalez et al., 2019; Diaz-Almanza et al., 2019). Se ha reportado que el ultrasonido reduce la dureza de la carne debido a la fragmentación y desnaturalización de las macromoléculas de colágeno (Lyng et al., 1997). La ruptura del tejido muscular podría resultar en la migración de proteínas, minerales y otros compuestos con la consecuente aceleración en la proteólisis. Stadnik et al. (2008) reportaron una rapidez del *rigor mortis* seguida de la fragmentación de la estructura proteica de la fibra muscular. Contrariamente, Ozuna et al. (2013) observaron mayor blandura en la carne de cerdo marinada con ultrasonido. Peña-Gonzalez et al. (2019) también encontraron una mejora en las propiedades texturales (mayor blandura) y un incremento en la fragmentación de *Longissimus dorsi* bovino tratado con ultrasonido (11 W/cm² por 60 min). También reportaron una reducción visible en el tamaño de los fascículos y mayores espacios interfibrilares, así como una mejora en los atributos sensoriales (mayor intensidad en el aroma a carne fresca y sabor

aceitoso). Se ha sugerido que la sonicación también puede ser un método eficaz para mejorar las propiedades tecnológicas del músculo sin afectar la estabilidad oxidativa (Stadnik y Dolatowski, 2011). Los resultados en investigación han revelado que el ultrasonido de alta intensidad podría afectar significativamente propiedades de solubilidad, comportamiento interfacial, viscosidad y gelificación de las proteínas (Kang et al., 2020). En conclusión, las variaciones en la calidad de la carne después de la sonicación dependen de la intensidad del ultrasonido, el tipo de músculo y el tiempo de aplicación (González-González et al., 2020; Carrillo-Lopez et al., 2019a; Diaz-Almanza et al., 2019).

Secado

El secado acústico es una aplicación del ultrasonido con gran importancia comercial. Se puede llevar a cabo a temperaturas más bajas que cuando se utiliza la metodología convencional, a fin de reducir la probabilidad de oxidación o degradación del material. El ultrasonido aumenta la tasa de transferencia de calor entre una superficie sólida y un líquido. Al aumentar la temperatura del líquido el umbral de la cavitación se reduce (Mason et al., 2005), y a mayor potencia la pérdida de humedad es más rápida. El ultrasonido ha sido evaluado para el secado de berenjena produciendo una reducción en el tiempo de secado (Puig et al., 2012). Sin embargo, la contribución

del ultrasonido al secado es dependiente de las condiciones experimentales y del producto (García-Pérez et al., 2006). Se ha reportado que una velocidad alta del aire durante el secado puede minimizar los efectos del ultrasonido (Rodríguez et al., 2014).

Emulsificación

Uno de los primeros usos del ultrasonido de potencia en el procesamiento de alimentos fue en la emulsificación. Esta se define como un proceso de mezclado de dos fases inmiscibles (por ejemplo, aceite y agua) con la ayuda de un emulsificante o surfactante, con el objetivo de formar una dispersión homogénea (emulsión). El proceso requiere de aporte de energía por medio de agitación mecánica o ultrasonido, a fin de facilitar la formación de pequeñas gotas. Con el ultrasonido, el colapso de las burbujas por la cavitación forma microjets de alta energía, cerca del límite de las fases de dos líquidos inmiscibles. De esta manera, la onda de choque resultante puede proporcionar una mezcla eficaz de las capas debido a que se obtienen emulsiones con gotas muy pequeñas y más estables en comparación con otros métodos (Behrend et al., 2000; Canselier et al., 2002; Juan y Lin, 2004).

Cocinado

En un método de cocción convencional los alimentos están expuestos a temperaturas elevadas. Mientras que el exterior es recocado, el interior es insuficientemente cocinado, reduciendo la calidad del producto. El ultrasonido tiene la capacidad de mejorar la transferencia de calor para evitar este tipo de problemas (Hausgerate, 1978). Existe una patente que describe un recipiente de cocción en el que se aplica ultrasonido al aceite caliente para mejorar el freído (más uniforme) y reducir el consumo de energía (Park et al., 2001). Aunque existen numerosas técnicas para el cocinado de la carne (además del calentamiento convencional), el sabor de la carne y el consumo de energía muchas veces son desfavorables. En el cocinado de carne de res, el ultrasonido permite obtener incrementar la velocidad de cocción y la retención de humedad y eficiencia energética (McClements, 1995), en comparación con el método convencional. Por lo tanto, el ultrasonido podría ser un nuevo método, rápido y eficiente en energía, que mejore los atributos de calidad de la carne cocinada.

Inactivación de microorganismos

El ultrasonido inactiva las bacterias, además de mantener los atributos frescos de los productos alimenticios (Peng et al., 2020). Estudios recientes han mostrado que el ultrasonido resulta en una importante

reducción de los microorganismos en carne de pollo (Piñon et al., 2019; 2020) y en carne de res (Sienkiewicz et al., 2017; Kang et al., 2017; Carrillo-Lopez et al., 2019a, Carrillo-Lopez et al., 2019b). Este efecto del ultrasonido se ha atribuido principalmente al efecto de cavitación en las células. La cavitación produce fluctuaciones de presión debido a las ondas de ultrasonido generadas, que posteriormente provocan la inactivación microbiana. Se sabe que el ultrasonido de alta intensidad ($> 1 \text{ W/cm}^2$ y frecuencias de 20-500 kHz) contribuye al efecto antimicrobiano y da como resultado una vida útil más prolongada de los alimentos.

La resistencia de los microorganismos a los tratamientos de ultrasonido es variable y se presenta en el siguiente orden: esporas > hongos > levaduras > células Gram-positivas > células Gram-negativas (Baumann et al., 2005). Los principales factores que afectan la inactivación microbiana son la amplitud de las ondas de ultrasonido, el tiempo de contacto, el volumen y la composición de los alimentos, la temperatura del tratamiento y el tipo, la forma y el diámetro de los *moo's* (Villamiel y Jong 2000; Earnshaw et al., 1995; Lopez-Malo et al., 1999). Las células más grandes son más sensibles que las pequeñas probablemente debido a su mayor área superficial. En cuanto a la forma de los microorganismos, los cocos son más resistentes que los bacilos debido a la relación de la superficie de la célula y el volumen (Chemat et al., 2011). Además, las diferencias en la sensibilidad de las células al efecto del ultrasonido difieren debido a que las estructuras de la pared celular. Por ejemplo, la capa de peptidoglucanos está más

fuertemente adherida y es más gruesa en las células Gram-positivas que en las Gram-negativas (Baumann et al., 2005; Earnshaw et al., 1995).

CONSIDERACIONES FINALES

El procesamiento con altas presiones (PAP) representa un proceso no térmico atractivo para productos cárnicos. El control eficaz de los patógenos resistentes a la presión y los organismos del deterioro en las carnes se puede realizar mediante la aplicación del PAP. El PAP puede ayudar en la elaboración de productos cárnicos reducidos en sal, aunque puede afectar negativamente los atributos de calidad de la carne, como el color, la textura y la microestructura. Finalmente, el método de PAP tiene potencial para beneficiar tanto a los consumidores como a los fabricantes, al propiciar una reducción del tiempo de procesamiento, una mejora de la calidad del producto y los posibles ahorros en los costos.

El tratamiento de pulsos eléctricos pulsados (CEP) proporciona una alternativa a la desintegración celular mecánica, térmica y enzimática de materias primas animales, proporcionando un tratamiento de corta duración y energéticamente eficiente. El CEP es una tecnología no térmica atractiva y eficiente que puede mejorar la funcionalidad, la extractabilidad y la recuperación de compuestos nutricionalmente beneficiosos.

El plasma frío es una tecnología que se puede utilizar para adaptar la modificación de los alimentos. Esta tecnología induce la inactivación microbiana manteniendo los atributos sensoriales en algunos productos. Además, conserva la composición de los alimentos a un bajo costo en cuanto a energía y tiempo. El plasma frío es especialmente útil para productos sensibles a la temperatura. Sin embargo, esta tecnología aún se encuentra en una etapa relativamente temprana, pues los impactos en las cualidades sensoriales y nutricionales de los alimentos no han sido bien determinados.

En la industria de la carne, el ultrasonido puede facilitar procesos como la maduración y la difusión de sales. Con ultrasonido es posible obtener productos cárnicos que son microbiológicamente más seguros, pero también de alta calidad y libres de aditivos químicos.

Estas nuevas tecnologías son más ecológicas, no requieren grandes cantidades de energía o agua, y generan menos residuos. Las tecnologías emergentes siguen siendo un desafío debido a la falta de evidencia científica para transferirla a entornos industriales.

REFERENCIAS

Afshari, R., Hosseini, H., 2014. Non-thermal plasma as a new food preservation method, its present and future prospect. J. Paramed. Sci. 5 (1), 116–120.

- Alahakoon, A.U., Oey, I., Bremer, P., Silcock, P., 2018. Process optimisation of pulsed electric fields pre-treatment to reduce the sous vide processing time of beef briskets. *Int. J. Food Sci. Technol.* 54(3), 823-834.
- Alarcon-Rojo, A.D., Peña-González, E., García-Galicia, I, Carrillo-López, L., Huerta-Jiménez, M., Reyes-Villagrana, R., Janacua-Vidales, H., 2018. Ultrasound Application to Improve Meat Quality. In: A. Valero and R.M. García-Gimeno, (Eds.), *Descriptive Food Science*. Intech Open. London, UK.
- Alarcon-Rojo, A.D., Carrillo-Lopez, L.M., Reyes-Villagrana, R., Huerta-Jimenez, M., Garcia-Galicia, I.A., 2019. Ultrasound and meat quality: A review. *Ultrason. Sonochem.* 55: 369–382.
- Alarcón-Rojo, A., Mota-Rojas, D., García-Galicia, I., Cruz-Monterrosa, R., Ramírez-Bribiesca, E., Olmos-Hernández, A., Guerrero Legarreta, I., 2020. Dark cutting in river buffalo: Effect of management and environmental factors. *Agroproductividad* 13, 93-98. <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1927>
- Alves Filho, E.G., de Brito, E.S., Rodrigues, S., 2020. Effects of cold plasma processing in food components. In: D. Bermudez-Aguirre, (Ed.), *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation*. Academic Press. New York, U.S.A.
- Alves, L de Lima, Stefanello da Silva, M., Martins Flores, D.R., Rodrigues Athayde, D., Roggia Ruviaro, A., da Silva Brum, D., Fagundes Batista, V.S., de Oliveira Mello, R., Ragagnin de

Menezes, C., Bastianello Campagnol, P.C., Wagner, R., Smanioto Barin, J., Cichoski, A.J., 2017. Effect of ultrasound on the physicochemical and microbiological characteristics of Italian salami. *Food Res. Int.* 106, 363-373.

Anjaneyulu, A.S.R., Thomas, R., Kondaiah, N., 2007. Technologies for value added buffalo meat products - A review. *Amer. J. Food Technol.* 2(3), 104–114.

Astráin-Redín, L., Raso, J., Cebrián, G., Álvarez, I., 2019. Potential of Pulsed Electric Fields for the preparation of Spanish dry-cured sausages. *Sci. Rep.* 9, 16042.

Arshad, R.N., Abdul-Malek, Z., Munir, A., Buntat, Z., Ahmad, M.H., Jusoh, Y.M.M., ... Aadil, R.M., 2020. Electrical systems for pulsed electric field applications in the food industry: An engineering perspective. *Trends Food Sci. Technol.* 104, 1-13.

Bak, K.H., Bolumar, T., Karlsson, A.H., Lindahl, G., Orlén, V., 2017. Effect of high pressure treatment on the color of fresh and processed meats: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 59(2), 228-252.

Bak, K.H., Bolumar, T., Karlsson, A.H., Lindahl, G., Orlén, V., 2019. Effect of high pressure treatment on the color of fresh and processed meats: A review. *Crit Rev. Food Sci. Nutr.* 59, 228–252.

- Baumann, A., Martin, S.E., Feng, H., 2005. Power ultrasound treatment of *Listeria monocytogenes* in apple cider. *J. Food Prot.* 68, 2333–2340.
- Behrend, O., Ax, K., Schubert, H., 2000. Influence of continuous phase viscosity on emulsification by ultrasound. *Ultrason. Sonochem.* 7(2), 77–85.
- Bekhit, A. E.-D. A., van de Ven, R., Suwandy, V., Fahri, F., & Hopkins, D. L. (2014). Effect of Pulsed Electric Field Treatment on Cold-Boned Muscles of Different Potential Tenderness. *Food Bioproc. Tech.* 7(11), 3136–3146.
- Belletti, N., Garriga, M., Aymerich, T., & Bover-Cid, S., 2013. Inactivation of *Serratia liquefaciens* on dry-cured ham by high pressure processing. *Food Microbiol.* 35(1), 34–37.
- Bhat, Z.F., Morton, J.D., Mason, S.L., Bekhit, A.E.-D.A. 2018a. Current and future prospects for the use of pulsed electric field in the meat industry. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 1–15.
- Bhat, Z.F., Morton, J.D., Mason, S.L., Bekhit, A.E.-D.A. 2019. The application of pulsed electric field as a sodium reducing strategy for meat products. *Food Chem.* 125622.
- Bhat, Z.F., Morton, J.D., Mason, S.L., Bekhit, A.E.-D.A. 2018b. Applied and Emerging Methods for Meat Tenderization: A Comparative Perspective. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 17, 841–859.

- Bonilauri, P., Grisenti, M. S., Daminelli, P., Merialdi, G., Ramini, M., Bardasi, L., ... Serraino, A., 2019. Reduction of *Salmonella* spp. populations in Italian salami during production process and high pressure processing treatment: Validation of processes to export to the U.S. *Meat Sci.* 157, 107869.
- Canselier, J., Delmas, H., Wilhelm, A., Abismail, B., 2002. Ultrasound emulsification An overview. *J. Dispersion Sci. Technol.* 23(1), 333-349.
- Caraveo, O., Alarcon-Rojo, A.D., Renteria, A., Santellano, E., L. Paniwnyk, L., 2005. Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with high-intensity ultrasound and stored at 4 °C. *J. Sci. Food Agric.* 95, 2487-2493.
- Cárcel, J.A., García-Pérez, J.V., Benedito, J., Mulet, A., 2011. Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound. *J. Food Eng.* 110(2), 200-207.
- Cárcel, J.A., Benedito J., Bon J., Mulet, A., 2007. High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Sci.* 76, 611-619.
- Carrillo-Lopez, L.M., Luna-Rodriguez, L., Alarcon-Rojo, A.D., Huerta-Jimenez, M., 2019a. High intensity ultrasound homogenizes and improves quality of beef longissimus dorsi. *Food Sci. Technol. Campinas*, 39(Suppl. 1), 332-340.
- Carrillo-Lopez, L.M., Huerta-Jimenez M., Garcia-Galicia I.A., Alarcon-Rojo A.D., 2019b. Bacterial control and structural and

physicochemical modification of bovine longissimus dorsi by ultrasound. *Ultras. Sonochem.* 58 104608.

Chemat, F., Zill-e-Huma, F., Khan M.K., 2011. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrason. Sonochem.* 18, 813–835.

Coll-Brasas, E., Arnau, J., Gou, P., Lorenzo, J. M., García-Pérez, J. V., Fulladosa, E., 2019. Effect of high pressure processing temperature on dry-cured hams with different textural characteristics. *Meat Sci.* 152, 127-133.

Cruz-Garibaldi, B.Y., Alarcon-Rojó, A.D., Huerta-Jimenez, M., Garcia-Galicia, I.A., Carrillo-Lopez, L.M., 2020. Efficacy of ultrasonic-assisted curing is dependent on muscle size and ultrasonication system. *Processes* 8(9):1015.

Dadan, M., Nowacka, M., Czyzewski, J., Witrowa-Rajchert, D., 2020. Modification of food structure and improvement of freezing processes by pulsed electric field treatment. In: F. Barba, O. Parniakov, A. Wiktor, (Eds.), *Pulsed Electric Fields to Obtain Healthier and Sustainable Food for Tomorrow*. Academic Press. New York, U.S.A. pp. 203–226.

Diaz-Almanza, S., Reyes-Villagrana, R.A., Carrillo-Lopez, L.M., Huerta-Jimenez, M., Urbina-Perez, J., Estepp, C., Alarcon-Rojó, A.D., Garcia Galicia, I.A., 2019. Time matters when ultrasonically beef: The best time for tenderness is not the best for

reducing microbial counts. *J. Food Process Eng.* 2019;e13210.

Dolatowski, Z.J., Stadnik, J., Stasiak, D., 2007. Applications of ultrasound in food technology. *Acta Sci. Pol. Tech. Alim.* 6(3), 89-99.

Durantón, F., Marée, E., Simonin, H., Chéret, R., de Lamballerie, M., 2011. Effect of high pressure–high temperature process on meat product quality. *High Press. Res.* 31(1), 163–167.

Earnshaw, R.G., Appleyard, J., Hurst, R.M., 1995. Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure, *Int. J Food Microbiol.* 28, 197–219.

Ermoshin N.A., Romanchikov S.A., Nikolyuk O.I., 2020. The electrohydraulic method for meat tenderization and curing. *Theory pract. meat process.* 5(2), 45-49.

Faridnia, F., Ma, Q. L., Bremer, P. J., Burritt, D. J., Hamid, N., Oey, I., 2015. Effect of freezing as pre-treatment prior to pulsed electric field processing on quality traits of beef muscles. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 29, 31–40.

Feizollahi, E., Misra, N.N., Roopesh, M.S., 2020. Factors influencing the antimicrobial efficacy of Dielectric Barrier Discharge (DBD) Atmospheric Cold Plasma (ACP) in food processing applications. *Crit. Rev. Food Sci. Nut.* 1–24.

- Fellows P., 2000. Food processing technology: Principles and practice. 2nd ed. CRC Press LLC. Florida, U.S.A.
- Gallego-Juárez, J., Rodríguez, G., Acosta, V., Riera, E., 2010. Power ultrasonic transducers with extensive radiators for industrial processing. *Ultras. Sonochem.* 17(6), 953–964.
- García-Gil, N., Santos-Garcés, E., Fulladosa, E., Laverse, J., Del Nobile, M. A., Gou, P., 2014. High pressure induces changes in texture and microstructure of muscles in dry-cured hams. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 22, 63-69.
- García-Pérez, J.V., Cárcel, J.A., De la Fuente, S., Riera, E., 2006. Ultrasonic drying of foodstuff in a fluidized bed. Parametric study. *Ultrasound* 44, e539–e543.
- Gauri, J., Sharma, D.P., Dabur, R.S., Pradeep, S., 2017. Buffalo Calf: An Emerging Meat Source in India. *MOJ Food Process. Technol.* 5(3), 318–319.
- Gómez, B., Munekata, P.E.S., Gavahian, M., Barba, F.J., Martí-Quijal, F.J., Bolumar, T., ... Lorenzo, J.M., 2019. Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: An overview. *Food Res. Int.* 123, 95-105.
- González-González, L., Luna-Rodríguez, L. Carrillo-López, L.M., Alarcón-Rojo, A.D., García-Galicia, I., Reyes-Villagrana, R., 2017. Ultrasound as an Alternative to Conventional Marination: Acceptability and Mass Transfer, *J. Food Qual.* vol. 2017, Article ID 8675720, 8 pages.

- Got F., Culioli, J., Berge, P., Vignon, X., Astruc, T., Quideau, J.M., Lethiecq, M., 1999. Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physico-chemical properties of beef. *Meat Sci.* 51, 35-42.
- Guerrero Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. 2019. *El Búfalo de Agua en las Américas/ River Buffalo in the Americas*. 2nd. Edition. Guerrero-Legarreta I, Napolitano F, Mota-Rojas D and Orihuela, A. Jan. (2019). Ciudad de México. p.p. 1-881. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>
- Hausgerate B.S., 1978. Process and device for treating foods using ultrasonic frequency energy, Ger. Pat. DE 2950-384.
- He, Z., Huang, Y., Li, H., Qin, G., Wang, T., Yang, J., 2012. Effect of high-pressure treatment on the fatty acid composition of intramuscular lipid in pork. *Meat Sci.* 90(1), 170–175.
- Huang, H.-W., Wu, S.-J., Lu, J.-K., Shyu, Y.-T., Wang, C.-Y., 2017. Current status and future trends of high-pressure processing in food industry. *Food Cont.* 72, 1–8.
- Hugas, M., Garriga, M., Monfort, J., 2002. New mild technologies in meat processing: high pressure as a model technology. *Meat Sci.* 62(3), 359–371.
- Hygreeva, D., Pandey, M.C., 2016. Novel approaches in improving the quality and safety aspects of processed meat products

through high pressure processing technology - A review. Trends Food Sci. Technol. 54, 175-185.

Inguglia, E.S., Oliveira, M., Burgess, C.M., Kerry, J.P., Tiwari, B.K., 2020. Plasma-activated water as an alternative nitrite source for the curing of beef jerky: Influence on quality and inactivation of *Listeria innocua*. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. Volume 59, January 2020, 102276.

Jayasooriya, S.D., Torley, P.J. D'Arcy, B.R., Bhandari, B.R., 2007. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. Meat Sci. 75, 628-639.

Jeong, S.-H., Kim, E.-C., Lee, D.-U, 2020. The impact of a consecutive process of pulsed electric field, sous-vide cooking, and reheating on the properties of beef Semitendinosus muscle. Foods 9(11), 1674.

Juang, R.S., Lin, K.H., 2004. Ultrasound-assisted production of W/O emulsions in liquid surfactant membrane processes. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 238(1–3), 43–49.

Kandeeppan, G., Mendiratta, S.K., Shukla, V., Vishnuraj, M.R., 2013. Processing characteristics of buffalo meat-a review. J. Meat Sci. Technol. 1(1), 1–11.

Kang, D., Jiang, Y., Xing, L., Zhou, G., Zhang, W., 2017. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Bacillus cereus* by power

ultrasound during the curing processing in brining liquid and beef. *Food Res. Int.* 102, 717–727.

Kantono, K., Hamid, N., Oey, I., Wu, Y.C., Ma, Q., Farouk, M., Chadha, D., 2020. Effect of high hydrostatic pressure processing on the chemical characteristics of different lamb cuts. *Foods*. 9(10), 1440.

Kaur, L., Astruc, T., Vénien, A., Loison, O., Cui, J., Irastorza, M., Boland, M., 2016. High pressure processing of meat: effects on ultrastructure and protein digestibility. *Food Funct.* 7(5), 2389–2397.

Kentish, S., Ashokkumar, M., 2011. The physical and chemical effects of ultrasound. In: Feng, F., Barbosa-Cánovas, G.V., Weiss, J., (Eds.), *Ultrasound technologies for food and bioprocessing*. Springer, New York, US.A. pp. 1-12.

Kim, Y.-J., Nishiumi, T., Fujimura, S., Ogoshi, H., Suzuki, A., 2013. Combined effects of high pressure and sodium hydrogen carbonate treatment on pork ham: improvement of texture and palatability. *High Press. Res.* 33(2), 354-361.

Kopuk, B., Güneş, R., Uran, H., 2020. Utilization of Pulsed Electric Field (PEF) Technique in Meat and Seafood Processing. *TURJAF*, 8(10), 2202-2213.

Kudra. T., Majumdar, A.S., 2009. *Advanced drying technologies*. 2nd. Edn. CRC Press, Boca Raton, U.S.A.

- Lee, S.H., Choe, J., Shin, D.J., Yong, H., Choi, Y., Yoon, Y., Jo, C., 2019. Combined effect of high pressure and vinegar addition on the control of *Clostridium perfringens* and quality in nitrite-free emulsion-type sausage. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 52, 429-437.
- Lee, E.S., Cheigh, C.-I., Kang, J.H., Lee, S.Y., Min, S.C. 2020. Evaluation of in-package atmospheric dielectric barrier discharge cold plasma treatment as an intervention technology for decontaminating bulk ready-to-eat chicken breast cubes in plastic containers. *Appl. Sci.* 10, 6301.
- Lee, J., Jo, K., Lim, Y., Jeon, H.J., Choe, J.H., Jo, C., Jung, S., 2018. The use of atmospheric pressure plasma as a curing process for canned ground ham. *Food Chem.* 240, 430–436.
- Lopez-Malo, A., Guerrero, S., Alzamora, S.M., 1999. *Saccharomyces cerevisiae* thermal inactivation combined with ultrasound, *J. Food Protect.* 62, 1215–1217.
- López-Pedrouso, M., Pérez-Santaescolástica, C., Franco, D., Carballo, J., Zapata, C., Lorenzo, J.M., 2019. Molecular insight into taste and aroma of sliced dry-cured ham induced by protein degradation undergone high-pressure conditions. *Food Res. Int.* 122, 635-642.
- Luo, J., Muhammad Nasiru, M., Yan, W., Zhuang, H., Zhou, G., Zhang, J., 2020. Effects of dielectric barrier discharge cold plasma treatment on the structure and binding capacity of aroma

compounds of myofibrillar proteins from dry-cured bacon. LWT, 117, 108606.

Luo, J., Yan, W., Nasiru, M. M., Zhuang, H., Zhou, G., Zhang, J., 2019. Evaluation of physicochemical properties and volatile compounds of Chinese dried pork loin curing with plasma-treated water brine. Sci. Rep. 9(1), 13793.

Lyng, J., Allen, P., Mckenna, B., 1997. The influence of high intensity ultrasound baths on aspects of beef tenderness. J. Muscle Foods 8(3):237–249.

Ma, H.J., Ledward, D.A., 2013. High pressure processing of fresh meat—is it worth it? Meat Sci. 95, 897–903.

Ma, Q., Hamid, N., Oey, I., Kantono, K., Faridnia, F., Yoo, M., Farouk, M., 2016. Effect of chilled and freezing pre-treatments prior to pulsed electric field processing on volatile profile and sensory attributes of cooked lamb meats. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 37, 359–374.

Martínez-Onandi, N., Rivas-Cañedo, A., Ávila, M., Garde, S., Nuñez, M., Picon, A., 2017. Influence of physicochemical characteristics and high pressure processing on the volatile fraction of Iberian dry-cured ham. Meat Sci. 131, 40–47.

Martínez-Onandi, N., Sánchez, C., Nuñez, M., Picon, A., 2019. Microbiota of Iberian dry-cured ham as influenced by chemical composition, high pressure processing and prolonged refrigerated storage. Food Microbiol. 80, 62–69.

- Mason, T.J., Lorimer, J.P., 2002. Applied sonochemistry. Wiley-VCH, Darmstadt, Ger.
- Mason, T.J., Paniwnyk, L., Chemat, F., Vian, M.A., 2011. Ultrasonic food processing. In: Andrew P., (Ed.), Alternatives to conventional food processing. RSC Publishing; Cambridge, UK. pp. 387-414.
- Mason, T.J., Riera, E., Vercet, A., López-Buesa, P., 2005. Application of ultrasound. In: Sun D-W., (Ed.), Emerging technologies for food processing. Elsevier Academic Press, California, USA. pp. 323-351.
- Mason, T.J., Paniwnyk L., Lorimer, J.P., 1996. The uses of ultrasound in food technology, Ultrason. Sonochem. 3, S253–S260.
- McArdle, R., Marcos, B., Kerry, J.P., Mullen, A., 2010. Monitoring the effects of high pressure processing and temperature on selected beef quality attributes. Meat Sci. 86(3), 629–634.
- McClements, D.J., 1995. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing, Trend Food Sci. Technol. 6, 293–299.
- McKenna, D.R., Mies, P.D., Baird, B.E., Pfeiffer, K.D., Ellebracht, J.W., Savell, J.W., 2005. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. Meat Sci. 70, 665–682.

Meat and Livestock Australia.

2010. <https://www.mla.com.au/research-and-development/reports/2010/high-pressure-processing>.

Morton, J.D., Pearson, R.G., Lee, H.Y., Smithson, S., Mason, S.L., Bickersta E.R., 2017. High pressure processing improves the tenderness and quality of hot-boned beef. *Meat Sci.* 133, 69–74.

Mulet, A., Cárcel, J., Benedito, J., Rosselló, C., Simal, S., 2003. Ultrasonic mass transfer enhancement in food processing. In: Welti-Chanes, J., Vélez-Ruiz, J.F., Barbosa-Cánovas, G.V., (Eds), *Transport phenomena in food processing*. CRC Press LLC, Florida, USA. pp. 265-278.

O' Neill, C.M., Cruz-Romero, M.C., Duffy, G., Kerry, J.P., 2018. Shelf life extension of vacuum-packed salt reduced frankfurters and cooked ham through the combined application of high pressure processing and organic acids. *Food Packag. Shelf Life* 17, 120–128.

Ozuna, C., Puig, A., García-Pérez, J.V., Mulet, A., Cárcel, J.A., 2013. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. *J. Food Eng.* 119, 84–93.

- Panea, B., Albertí, P., Ripoll, G., 2020. Effect of high pressure, calcium chloride and ZnO-Ag nanoparticles on beef color and shear stress. *Foods*. 9(2):179.
- Park S-H, Roh Y-R. Cooker, Int. Pat. WO 0113773. 2001.
- Peng, K., Koubaa, M., Bals, O., Vorobiev, E., 2020. Recent insights in the impact of emerging technologies on lactic acid bacteria: A review. *Food Res. Int.* 137, 109544.
- Peña-Gonzalez, E.M., Alarcon-Rojo, A.D., Rentería A., García I., Santellano E. Quintero A., Luna, L., 2017. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef. *Ital. J. Food Sci.* 29, 463-475.
- Peña-Gonzalez, E., Alarcon-Rojo, A.D., Garcia-Galicia, I., Carrillo-Lopez, L., Huerta-Jimenez, M., 2019. Ultrasound as a potential process to tenderize beef: sensory and technological parameters. *Ultras. Sonochem.* 53, 134-141.
- Peña-Gonzalez, E., Alarcon-Rojo, A.D., Garcia-Galicia, I., Carrillo-Lopez, L., Huerta-Jimenez, M., 2019. Ultrasound as a potential process to tenderize beef: sensory and technological parameters. *Ultras. Sonochem.* 53, 134-141.
- Pérez-Santaescolástica C., Carballo J., Fulladosa E., Munekata P.E.S., Bastianello Campagnol, P.C., Gómez, B., Lorenzo, J.M., 2019. Influence of high-pressure processing at different temperatures on free amino acid and volatile compound profiles of dry-cured ham. *Food Res. Int.* 116, 49-56.

- Pietrzak, D., Fonberg-Broczek, M., Mucka, A., Windyga, B., 2007. Effects of high pressure treatment on the quality of cooked pork ham prepared with different levels of curing ingredients. *High Press. Res.* 27(1), 27–31.
- Pinton, M.B., dos Santos, B.A., Lorenzo, J.M., Cichoski, A.J., Boeira, C.P., Campagnol, P.C.B., 2021. Green technologies as a strategy to reduce NaCl and phosphate in meat products: An overview. *Curr. Opin. Food Sci.* 40, 1-5.
- Piñon M., Alarcon-Rojo A.D., Paniwnyk L., Mason T., Renteria A., Luna L. 2019. Ultrasound for improving the preservation of chicken meat. *Food Sci. Technol. Campinas.* 39 (Suppl. 1) 129-135.
- Piñon, M.I., Alarcon-Rojo, A.D., Renteria, A.L., Carrillo-Lopez, L.M., 2020. Microbiological properties of poultry breast meat treated with high-intensity ultrasound. *Ultrasonics.* 102, 105680.
- Puig, A., Perez-Munuera, I., Cárcel, J.A., Hernando, I., García-Pérez, J.V., 2012. Moisture loss kinetics and microstructural changes in eggplant (*Solanum melongena* L.) during conventional and ultrasonically assisted convective drying. *Food Bioprod. Process.* 90, 624–632.
- Rivas-Canedo, A., Martínez-Onandi, N., Gaya, P., Nunez, M., Picon, A., 2021. Effect of high-pressure processing and chemical composition on lipid oxidation, aminopeptidase activity and

free amino acids of Serrano dry-cured ham. Meat Sci. 172, February 2021, 108349.

Rivas-Cañedo, A., Fernández-García, E., Nuñez, M., 2009. Volatile compounds in dry-cured Serrano ham subjected to high pressure processing. Effect of the packaging material. Meat Sci. 82(2), 162–169.

Rodríguez, J., Mulet, A., Bon, J., 2014. Influence of high-intensity ultrasound on drying kinetics in fixed beds of high porosity. J Food Eng. 127, 93–102.

Sazonova, S., Galoburda, R., Gramatina, I., 2017. Application of high-pressure processing for safety and shelf-life quality of meat – a review. Presented at the Baltic Conference on Food Science and Technology FOODBALT “Food for consumer well-being.”

Sienkiewicz, J.J., Wesołowski, A., Stankiewicz, W., Kotowski, R., 2017. The influence of ultrasonic treatment on the growth of the strains of Salmonella enterica subs. Typhimurium. J. Food Sci. Technol. 54, 2214–2223.

Sikes, A.L., Mawson, R., Stark, J., Warner, R., 2014. Quality properties of pre- and post-rigor beef muscle after interventions with high frequency ultrasound. Ultrason.Sonochem. 21, 2138-2143.

Singh, M., Rama, E.N., Kataria, J., Courtney Leone, C., Thippareddi, H., 2020. Emerging meat processing technologies for

microbiological safety of meat and meat products. Meat and Muscle Biology. 2020 International Congress of Meat Science and Technology and the AMSA Reciprocal Meat Conference.

Siró, I., Vén Cs., Balla, Cs., Jonás, G., Zekel, F.L., 2009. Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. J. Food Eng. 91, 353-362.

Smith, D.P., 2011. Effect of ultrasonic marination on broiler breast meat quality and Salmonella contamination. Int. J. Poult. Sci. 10, 757-759.

Stadnik, J., Dolatowski, Z.J., Baranowska, H.M., 2008. Effect of ultrasound treatment on water holding properties and microstructure of beef (m. semimembranosus) during ageing. LWT - Food Sci. Technol. 41, 2151-2158.

Stadnik, J., Dolatowski, Z.J., 2011. Influence of sonication on Warner-Bratzler shear force, colour and myoglobin of beef (m. semimembranosus). Eur. Food Res. Technol. 233, 553–559.

Stoica, M., Mihalcea, L., Borda, D., Alexe, P., 2013. Non-thermal novel food processing technologies. An overview. J. Agroaliment. Process. Technol. 19, 212–217.

Sunil, E., Chaudhary, V., Chandra, S., Kumar, V., 2018. Non-thermal techniques: Application in food industries. A review. Int. J. Pharmacogn. Phytochem. 7(5), 1507-1518.

- Taddei, R., Giacometti, F., Bardasi, L., Bonilauri, P., Ramini, M., Fontana, M. C., ... Merialdi, G., 2020. Effect of production process and high-pressure processing on viability of *Listeria innocua* in traditional Italian dry-cured coppa. *Ital. J. Food Saf.* 9(2). doi:10.4081/ijfs.2020.9133
- Tamm, A., Bolumar, T., Bajovic, B., Toepfl, S., 2016. Salt (NaCl) reduction in cooked ham by a combined approach of high pressure treatment and the salt replacer KCl. *Innov. Food Sci. Emerging Technol.* 36, 294–302.
- Villamiel M, Jong P., 2000. Inactivation of *Pseudomonas fluorescens* and *Streptococcus thermophilus* in trypticase soy broth and total bacteria in milk by continuous-flow ultrasonic treatment and conventional heating. *Food Eng.* 45, 171–179.
- Wang, Q., Zhao, X., Ren, Y., Fan, E., Chang, H., Wu, H., 2013. Effects of high pressure treatment and temperature on lipid oxidation and fatty acid composition of yak (*Capra hircus*) body fat. *Meat Sci.* 94(4), 489–494.
- Wang, X., Wang, X., Muhoza, B., Feng, T., Xia, S., & Zhang, X., 2020. Microwave combined with conduction heating effects on the tenderness, water distribution, and microstructure of pork belly. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 62, 102344. doi:10.1016/j.ifset.2020.102344.

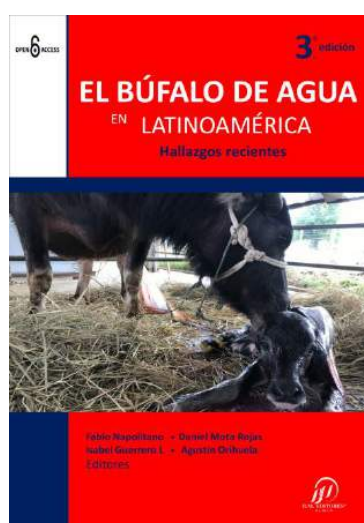
- Yang, Y., Sun, Y., Pan, D., Wang, Y., Cao, J., 2018. Effects of high pressure treatment on lipolysis-oxidation and volatiles of marinated pork meat in soy sauce. *Meat Sci.* 145, 186–194.
- Yong, H.I., Lee, S.H., Kim, S.Y., Park, S., Park, J., Choe, W., Jo, C., 2017. Color development, physiochemical properties, and microbiological safety of pork jerky processed with atmospheric pressure plasma. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 53, 78-84.
- Zhu, C., Yin, F., Tian, W., Zhu, Y., Zhao, L., Zhao, G., 2019. Application of a pressure-transform tumbling assisted curing technique for improving the tenderness of restructured pork chops. *LWT.* 111, 125-132.
- Zybert, A., Tarczynski, K., Sieczkowska, H., 2019. A meta-analysis of the effect of high pressure processing on four quality traits of fresh pork. *J. Food Process. Preserv.* 43, e13895.



CAPÍTULO 33

APLICACIÓN DEL ULTRASONIDO DE ALTA INTENSIDAD EN LA INDUSTRIA CÁRNICA

Reyes Omaro Caraveo-Suárez, Mariana Huerta-Jiménez, Iván Adrián García-Galicia, Luis Manuel Carrillo-López, Raheel Suleman y Alma Delia Alarcón-Rojó



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA

3^a. Edición



CAPÍTULO 33

Aplicación del ultrasonido de alta intensidad en la industria cárnica

Reyes Omaro Caraveo-Suárez¹, Mariana Huerta-Jiménez¹, Iván Adrián García-Galicia¹, Luis Manuel Carrillo-López¹, Raheel Suleman² y Alma Delia Alarcón-Rojo¹

¹Facultad de Zootecnia y Ecología (FZyE), Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Chihuahua, México.

²Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, China; and Department of Food Science and Nutrition. Times Institute, Multan, Pakistán.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria alimentaria mundial tiene como objetivo ofrecer alimentos naturales, sanos, inocuos, con alto valor nutritivo y con una mayor vida de anaquel. Al mismo tiempo, los consumidores se preocupan más por la salud y están pendientes del uso de productos químicos en el procesamiento de los alimentos (Feng y Yang, 2011). Es así, como continuamente se investigan nuevos procesos para la elaboración y conservación de alimentos. Como resultado, los métodos físicos y no invasivos han adquirido importancia para alargar la vida de anaquel, mejorar y hacer más eficiente el procesamiento e inhibir la proliferación de microorganismos indeseables, minimizando

el impacto en las propiedades nutritivas y organolépticas de los alimentos.

Uno de estos métodos utilizados para el procesado de los alimentos es el ultrasonido de alta intensidad (Bilek y Turantaş, 2013). En la última década, algunos investigadores han estudiado los efectos del ultrasonido de alta intensidad (UAI) por sí solo o en combinación con otros métodos para evaluar la calidad de la carne, en términos de capacidad de retención de agua, pH, color, propiedades funcionales de las proteínas, vida de anaquel, composición de la carne, y la inactivación de microorganismos (Brewer, 2012; Zhou et al., 2012). Es por esto que el UAI ha sido objeto de interés para la industria cárnica. El objetivo de éste capítulo es brindar un panorama sobre el UAI en la industria de la carne, enfatizando en los efectos sobre los principales parámetros de calidad.

Generalidades del Ultrasonido

El ultrasonido se refiere a las ondas de sonido más allá del rango de frecuencia audible (en general > 20 kHz). Cuando el ultrasonido pasa a través de un medio líquido, la interacción entre las ondas ultrasónicas, el líquido y el gas disuelto conducen a un fenómeno conocido como cavitación (Ashokkumar, 2011). En los equipos de ultrasonido la vibración del sonido se genera mediante un transductor piezoeléctrico Langevin, el cual consiste en dos elementos cerámicos que cambian su

tamaño de forma precisa y reproducible en respuesta a un campo eléctrico. En un equipo de ultrasonido, cuatro o seis de estos transductores generalmente se colocan en un patrón regular debajo de la base del mismo (Ninoles, 2010).

Como el ultrasonido es una onda mecánica, sus características como frecuencia, longitud de onda y amplitud pueden influir en la cavitación acústica. Asimismo, la potencia de entrada, el diseño del reactor y la forma de la sonda pueden influir en el proceso (Azmir et al., 2013; Rajha et al., 2015). Un baño ultrasónico simple es la configuración comúnmente utilizada para el modo indirecto de irradiación y también es una configuración económica donde se aplica el ultrasonido a través de los transductores colocados en una placa unida al fondo del recipiente (Sancheti y Gogate, 2017).

Las ondas deben ser transferidas a través del agua hasta que llegue a la muestra (carne, frutas, vegetales, leche, etc.) que será sometida a tratamiento ultrasónico (Kek et al., 2013). Los sistemas de sonda tienen una alta intensidad de cavitación obtenida para los volúmenes operativos más bajos. La energía acústica se introduce directamente en el líquido y la potencia disipada en la mezcla de reacción puede cambiarse, aunque la frecuencia de irradiación permanece constante. El sistema de sonda proporciona una intensidad aproximadamente 100 veces más alta que la del baño ultrasónico (Sancheti y Gogate, 2017).

Cavitación

Las ondas de ultrasonido, al pasar a través de un medio líquido, provocan la vibración mecánica del líquido. Además de este efecto, el ultrasonido también genera transmisión acústica dentro del medio. Si el medio líquido contiene núcleos de gas disuelto, lo cual se da en condiciones normales, éstos pueden crecer y colapsarse debido a la acción del ultrasonido. Este fenómeno de crecimiento y colapso de microburbujas bajo un campo ultrasónico se conoce como cavitación (Ashokkumar y Mason, 2007). Lo anterior conduce al crecimiento de las burbujas hasta un tamaño máximo dentro de un ciclo acústico y colapsan violentamente generando condiciones altas de temperatura (5500 °C) y presión (50 Mpa) durante un corto período de tiempo (Bhaskaracharya et al., 2009). Kassai (2013) mostró que a medida que aumenta la intensidad de la onda ultrasónica se genera una presión acústica más alta, lo que conduce a un colapso mayor y más violento y a un consiguiente incremento de los efectos químicos o físicos. Por lo tanto, este fenómeno puede producir una variedad de alteraciones en tejidos y materiales biológicos.

Aplicaciones en la Industria Alimenticia

El ultrasonido de potencia tiene un rango amplio de aplicaciones, sin embargo, muy pocos procesos se han implementado en el procesamiento de alimentos a nivel industrial. Estos son principalmente procesos de extracción y emulsificación en la industria láctea, producción de jugos de frutas y vegetales, decontaminación de vegetales frescos, entre otros (Patist y Bates, 2008).

Durante la última década, el uso de ultrasonido de potencia se ha convertido en una técnica alternativa de procesamiento no térmico de los alimentos. El ultrasonido, solo o en combinación con otros métodos, ha demostrado tener potencial para mejorar los parámetros de calidad de la carne, como la terneza, propiedades funcionales de las proteínas, vida de anaquel y transferencia de masa (Chang et al., 2015). Además, ayuda a reducir el uso de sal en carnes procesadas, mejorar la cocción e inactivar microorganismos en carne y productos derivados (Alarcón-Rojo et al., 2015; Turantaş et al., 2015). También se ha demostrado que el ultrasonido de potencia aumenta la blandura de la carne al causar alteración de la integridad muscular y la modificación de la estructura del colágeno (Xiong et al., 2015). El ultrasonido puede reducir el tiempo de salmuera sin afectar la calidad de la carne, a la vez que mejora las tasas de difusión de sal (McDonnell et al., 2014; Ojha et al., 2016). El ultrasonido también aumenta la capacidad de retención de agua y la cohesión en la carne y los

productos cárnicos (McClements, 1995) y tiene efecto sobre la degradación muscular (Xiong et al., 2012).

EFFECTOS SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA CARNE

pH

Numerosos estudios se han centrado en obtener carne con mejores cualidades tecnológicas y sensoriales. En este sentido, el ultrasonido ha mostrado efectos tanto positivos como negativos. Las diferencias en los resultados se deben a factores intrínsecos (raza, especie, edad y tipo de músculo) y extrínsecos (sistemas ultrasónicos, tiempo, intensidad y frecuencia (Alarcon-Rojo et al., 2015). Aunque en algunos estudios se ha observado que el ultrasonido no influye en el pH (Dolatowski et al., 2000, Stadnik et al., 2008), otros autores observaron que este parámetro es afectado por el tratamiento de sonicación. Caraveo et al. (2015) reportaron una disminución en los valores de pH de músculo *Semitendinosus* sometidos a dos tiempos de ultrasonido, aunque los valores se mantuvieron dentro del rango normal de la carne (5.4 a 5.6). Saleem y Ahmad (2016) reportaron un aumento de 0.15 unidades en muestras de pollo después de ser sonicada. A su vez, González-González et al. (2017) reportaron un incremento de 0.2 unidades en músculo *Longissimus dorsi* sometido a un tratamiento de 60 min de ultrasonido. Este aumento en el pH está

asociado con la desnaturalización de proteínas, ya que el UAI genera radicales libres altamente reactivos y peróxido de hidrógeno que interactúan con las proteínas. Lo anterior resulta en una disminución en los grupos ácidos de las proteínas musculares (Soria y Villamiel, 2000) e indica que el pH podría afectarse. Sin embargo, las variaciones en ambos casos no representan ningún problema debido a que los valores de pH de la carne sonicada casi siempre se encuentran dentro de los valores normales para la carne fresca.

Capacidad de retención de agua (CRA)

La CRA es un parámetro de calidad de la carne con importancia económica (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005). Por ello, es importante evaluarla en carnes que han recibido tratamiento con ultrasonido. El ultrasonido aumenta las tasas de exudado de la carne y la pérdida de agua (Chang et al., 2015). Stadnik et al. (2008) y Saleem et al. (2016) informaron que el ultrasonido causa un aumento en la CRA de carne de res y pollo, mientras que Caraveo et al. (2015) reportaron que el ultrasonido aumentó la CRA durante los días posteriores al tratamiento. Sin embargo, Siró et al. (2009) y McDonnell et al. (2014) no encontraron ningún efecto en la CRA durante un procedimiento de curado, lo cual puede indicar que solo es un efecto en la superficie de la carne. A su vez, Ozuna et al. (2013) y Kang et al. (2016) consideran que el ultrasonido puede inducir cambios microestructurales tanto en

el interior como en la superficie de la carne durante el proceso de curado. Esto podría sugerir un resultado diferente de la CRA de la carne.

Kang et al. (2017) exploraron los mecanismos del ultrasonido de potencia (USP, 150 y 300 W) y el tiempo de tratamiento (30 y 120 min) sobre la CRA y la terneza de la carne durante el curado. El músculo de res a las 48 h *post-mortem* se sometió a tratamiento con USP a una frecuencia de 20 kHz. El análisis de la pérdida de compresión y la fuerza de corte mostró que el curado asistido por USP aumentó significativamente la CRA y la terneza de la carne en comparación con la salmuera estática. Carrillo-Lopez et al. (2019) demostraron que el ultrasonido (37 kHz y 7 W/cm², 60 min; 7 d maduración) presentó efecto en la CRA de la carne después de 7 d de almacenamiento. Mientras que Gonzalez-Gonzalez, et al. (2020) reportaron que el ultraosonido (40 kHz; 11 W/cm²; 40, 60 y 80 min; 7 y 14 d maduración) mejoró la CRA de músculos como *L. lumborum* e *Infraespinatus*, después del proceso de maduración. Por otra parte, Garcia-Galicia et al. (2020) observaron que al aplicar ultrasonido (37 kHz, 90 W/cm², durante 40 min) en res envasada al vacío, la CRA se mantiene durante la exhibición a la venta al por menor. Lo anterior indica que el efecto del ultrasonido está relacionado directamente con los cambios que este provoca a nivel estructural. Las variaciones encontradas por los autores pueden atribuirse a diversos factores como el tipo de músculo, tiempo de tratamiento de ultrasonido, intensidad, entre otros. Los estudios indican que a medida que el pH aumenta y se aproxima a la

neutralidad, el número de cargas iónicas entre las fibras musculares aumenta, por lo tanto, se puede presentar un incremento en la cantidad de agua retenida.

Terneza de la carne

La terneza es uno de los atributos más importantes de la carne que influyen en la aceptación del consumidor (Istrati, 2008). El ablandamiento posterior al sacrificio es el resultado de la proteólisis de las proteínas miofibrilares y del citoesqueleto por acción de las proteasas, así como la disminución de compuestos del tejido conectivo, especialmente del colágeno (Lawrie y Ledward, 2006).

La compresión y la depresión inducidas por ondas ultrasónicas producen microburbujas en la estructura cuya implosión conduce al fenómeno de cavitación. Esta propaga ondas de choque de alta energía a través del tejido, causando daños (Got et al. 1999; Awad et al., 2012). El ultrasonido puede aumentar la liberación de catepsina y de calcio como resultado de la disrupción física de los músculos (Got et al., 1999; Turantaş et al., 2015). Se ha propuesto que la cavitación acústica induce una alteración mecánica de la estructura de las proteínas miofibrilares (Stadnik y Dolatowski, 2011) así como la fragmentación de las macromoléculas de colágeno y la migración de proteínas, minerales y otros compuestos, con la consiguiente

aceleración de la proteólisis o desnaturalización proteica (Siro et al., 2009).

Chang et al. (2012) indicaron que la aplicación de USP (40 kHz, 1500 W) en músculo *Semitendinosus* durante 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min, disminuyó el diámetro de la fibra muscular sin ningún efecto sobre el contenido de colágeno insoluble en calor. Sin embargo, tuvo efectos en la estabilidad térmica, algunas propiedades del colágeno y en la textura de la carne. A su vez Peña-González et al. (2017) reportaron un efecto positivo en la terneza del músculo *Longissimus dorsi* sometido a 60 min de ultrasonido. El esfuerzo de corte de la carne continuó reduciéndose aún días después del tratamiento.

Existe evidencia de los efectos positivos del UAI sobre los cambios estructurales y su posible impacto en la suavidad de la carne. El efecto de suavizado del ultrasonido se ha descrito como un efecto principal (Chang et al., 2015; de Lima Alves et al., 2017; Peña-González et al., 2017; Gómez-Salazar et al., 2018; Wang et al., 2018), o cuando la tecnología es combinada con otras, tales como la marinación, maduración o adición de enzimas extrínsecas, como la papaina (Filomena-Ambrosio et al., 2016; Kang et al., 2016; Kang et al 2017; Barekat and Soltanizadeh, 2017, 2018; González-González et al., 2017; Gonzalez-Gonzalez et al., 2020). Esta mayor actividad acelera e incrementa los cambios estructurales anteriormente mencionados durante procesos de maduración o de marinado y acarrea como consecuencia un efecto aditivo a la tenderización de la carne (Wang et al., 2018). Aunque en menor grado, también se han reportado

ausencia de efectos del UAI sobre la textura de la carne. Por ejemplo, al aplicar UAI *post-rigor* (600 kHz at 48 kPa and 65 kPa presión acústica, 40% y 100%), la fuerza de corte de lomo no presentó diferencias. Sin embargo, algunos músculos de cuello, respondieron positivamente y redujeron su fuerza al corte (Sikes et al., 2014). Jayasooriya et al. (2007) ya habían reportado una importante interacción entre el uso de UAI con el tiempo de maduración que tiene la carne. Ellos reportaron un mayor efecto del ultrasonido sobre la suavidad de la carne que fue madurada por periodos cortos (0 a 1 d), y un menor efecto en la carne madurada por periodos mayores (3 a 8 d).

En conclusión el ultrasonido afecta la degradación *post-mortem* de las proteínas miofibrilares que están estrechamente ligadas a cambios estructurales que reflejan una mayor suavidad de la carne durante la maduración. Por otra parte, la cavitación acústica podría actuar en el tejido de la carne rompiendo la integridad de las células y promoviendo las reacciones enzimáticas. La efectividad del ultrasonido en suavizar la carne ha sido atribuida a la ruptura mecánica de la estructura de proteínas miofibrilares, la fragmentación de las macromoléculas de colágeno y la migración de proteínas, minerales y otros compuestos con la consecuente aceleración de la proteólisis o desnaturalización de las proteínas.

Colágeno

La terneza de la carne está en función del contenido de colágeno, la estabilidad térmica y la estructura de las miofibrillas del músculo (Monsón et al., 2005). La creación de puentes entre fibras de colágeno es un proceso que avanza con la edad del animal y ha sido asociado con una disminución de la terneza en animales de edad avanzada (Warriss, 2010). El calor solubiliza el colágeno, lo cual implica un ablandamiento de la carne, pero también desnaturaliza las proteínas miofibrilares. El resultado neto depende de las condiciones del cocinado (Obuz et al., 2003). Chang et al. (2015) evaluaron el efecto del ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz y una intensidad de 1500 W/cm² con diferentes tiempos de exposición (10, 20, 30, 40 50 y 60 min) sobre la calidad de la carne y el contenido de colágeno de músculo *Semitendinosus* bovino. Ellos observaron que la aplicación de ultrasonido no tuvo ningún efecto sobre la pérdida de cocción o el contenido de colágeno insoluble y se presentaron pocos efectos sobre el contenido y solubilidad del colágeno. La resistencia mecánica del tejido conectivo disminuyó en la carne tratada con ultrasonido. Después del tratamiento con ultrasonido de ≥ 10 min, las fibras musculares se contrajeron, el endomisio se rompió y el grosor del perimisio disminuyó. Estos autores concluyeron que el ultrasonido de baja frecuencia y alta potencia tuvo efectos significativos sobre la textura de la carne y las propiedades del tejido conectivo (Chang et al., 2015).

Color de la carne

La percepción del color juega un papel importante en la evaluación de la calidad de la carne y en la aceptación de ésta por parte del consumidor. Por lo tanto, la medición de los parámetros de color es una técnica importante en el control de calidad. El color en la carne está determinado por tres pigmentos. La desoximioglobina es el pigmento púrpura que se observa cuando la carne está fresca o recién cortada. Esta, al oxigenarse se transforma en oximioglobina la cual genera el color rojo cereza brillante que el consumidor espera en la carne de res. Al oxidarse, la oximioglobina se convierte en metamioglobina produciendo un color café en la carne el cual provoca rechazo por el consumidor (Lawrie, 2006). Para fines de investigación, el color de la carne ha sido ampliamente medido por las escalas de CIE $L^*a^*b^*$ y Hunter (Mancini y Hunt, 2005). Las coordenadas cromáticas han sido también ampliamente relacionadas con la calidad de la carne (Karamucki et al., 2006; Hunt et al., 2012). L^* se refiere a la luminosidad, a^* con valor positivo indica la tendencia al rojo y b^* con valor positivo refleja la tendencia al amarillo.

Existen factores que afectan el color en la carne, algunos pueden ser el manejo *post-mortem*, que incluye manejo al sacrificio, tipo de empaque, exposición a la luz, temperatura y crecimiento bacteriano, entre otros (Pérez Dubé y Andújar Robles, 2000). El uso del UAI para mejorar el color en la carne ha sido amplio y se ha aplicado en diferentes especies animales. Particularmente en carne fresca, se ha

sido utilizado para tratar de mejorar el color, además de otras características como la terniza y el sabor (Alarcon-Rojó et al., 2015; Turantaş et al., 2015). La mayoría de los estudios realizados muestran que los parámetros de color no se vieron afectados por el tratamiento con ultrasonido. Como resultado, no hubo diferencias significativas entre muestras sonicadas y de control. Se propuso que aunque la temperatura aumentó durante el tratamiento con ultrasonido, el calor generado es insuficiente para la desnaturalización térmica y para la oxidación de los pigmentos de color (mioglobina, metamioglobina) (Jayasooriya et al., 2007).

Pohlman et al. (1997) reportaron cambios en los parámetros de color de la carne después de la aplicación de UAI (22 W/cm^2). La carne fue más clara (L^* inferior), menos roja (a^* más bajo), más amarilla (más alto b^*), más naranja (ángulo de tono Hue* mayor) y menos brillante que la carne control. El calor generado durante el tratamiento se consideró la principal causa de este cambio de color. Por lo tanto, la desnaturalización térmica y la oxidación de los pigmentos de la carne pueden afectar el color de la carne, haciéndola más pálida y menos roja (Chang et al., 2012). Caraveo et al. (2015) no reportaron diferencias en la luminosidad al usar dos tiempos de sonicación. Peña-González et al. (2017) observaron que la carne tratada con ultrasonido a 60 min presentó un color más pálido durante el tiempo de almacenamiento posterior a la sonicación. Otros autores notaron que el ultrasonido limitó la formación de oximioglobina y retardó la formación de metamioglobina, los cuales son componentes que

influyen en el color (Stadnik y Dolatowski, 2011). Las diferencias en los resultados pueden atribuirse al tiempo de ultrasonido empleado, nivel de potencia utilizado, tipo de músculo o a la temperatura durante la sonicación. Aunque esos autores (Stadnik y Dolatowski, 2011) consideraron que el calor generado no fue suficiente para la desnaturalización y oxidación de pigmentos del color (mioglobina y metamioglobina).

La tendencia al amarillo (b^*) en carne de res es altamente influenciada por cualquier factor que afecte el estado redox de la mioglobina (Lindahl et al., 2001). Normalmente, un incremento de b^* en carne de res, es relacionado con un incremento en coloraciones cafés en la misma (O'Sullivan et al., 2003). Por ello, aunque en carne de cerdo este efecto es positivo, en carne de bovino, se puede considerar como una desventaja, ya que coloraciones cafés pueden llevar al rechazo de la carne en el mercado (Nowak et al., 2017).

El Chroma (C^*) es una valoración que considera dos coordenadas cromáticas a^* y b^* , por lo que para muchos autores, C^* representa una variable más integrada del color real de la carne y se ha vuelto, junto con a^* , las variables de mayor importancia para evaluar res o carne de ovino. En carne de res, un valor menor de C^* de 18, se ha identificado como el límite mínimo para que el consumidor acepte el producto (MacDougall, 1982). El ultrasonido de potencia ha demostrado no tener efecto sobre el valor C^* de la carne lo cual puede considerarse como una ventaja, en caso que la aplicación de ultrasonido mejore otras características de calidad como la ternura de

la carne (Olivera et al., 2013). Carrillo-Lopez et al. (2019) al aplicar ultrasonido a una intensidad de 16, 28 y 90 W/cm² (20 y 40 min; 0 y 7 d almacenamiento) observaron una degradación importante en el color de carne sonicada, durante el almacenamiento. Además, las áreas interfibrilares aumentaron drásticamente en las muestras tratadas bajo las mismas condiciones.

Los efectos del ultrasonido de potencia sobre el color de la carne deben tomarse con cautela sobre todo al declarar que el ultrasonido afecta definitivamente al color de la carne. Se ha observado que una vez que la carne es cocinada, los consumidores no detectan diferencia entre carne sonicada y carne control (Peña-González et al., 2017; González-González et al., 2017). Por otro lado, en productos procesados de cerdo, el ultrasonido de potencia no afecta los pigmentos heme o la metamioglobina, lo cual ha sido considerado como un efecto positivo (de Lima Alves et al., 2017). En otro tipo de carnes como la de conejo, el ultrasonido ha demostrado incrementar la L* pero reduce el efecto negativo que causa la adición de NaCl (70, 140 y 200 g/L) sobre la a* de la carne (Gómez-Salazar et al., 2018).

Microbiología de la carne

La carne es un producto alimenticio altamente perecedero y se vuelve peligroso debido al crecimiento microbiano. Sin embargo, la contaminación microbiana es inevitable en las condiciones de procesamiento industrial (Sofos, 2008). Ciertas especies bacterianas se multiplican rápidamente debido al pH y la A_w favorables, alcanzando niveles que deterioran la calidad sensorial y causan descomposición (Doulgeraki et al., 2012). La cantidad inicial de bacterias depende de su estado fisiológico al momento del sacrificio y del nivel de contaminación en el ambiente del matadero, incluyendo la higiene del personal así como herramientas y equipos utilizados (Serraino et al., 2012). En carne el deterioro microbiano conduce al desarrollo de malos olores y formación de espuma, lo cual hace al producto indeseable para el consumo humano (Jay, 2000). Los cambios organolépticos pueden variar de acuerdo a las asociaciones microbianas que contaminan la carne y a las condiciones de almacenamiento. Este deterioro está relacionado con el consumo de nutrientes de la carne como los azúcares y los aminoácidos libres, lo cual da como resultado la liberación de metabolitos volátiles indeseables. Cargas microbianas de 10^7 UFC/cm² están asociadas a malos olores como “a queso” o “mantecoso”, después evoluciona a olores “frutales” cuando la carga se incrementa e inician olores pútridos como resultado del consumo de aminoácidos libres, en este caso las cargas microbiana suelen estar en nivel de 10^9 UFC/cm²

(Dainty et al., 1985). Una vez que la glucosa presente en la fase acuosa ha sido utilizada, otros substratos son secuencialmente consumidos y transformados por las bacterias en compuestos olorosos nitrogenados como amoníaco y dimetilsulfuro (Stanbridge y Davies, 1998). Diferentes especies y cepas relacionadas con el deterioro pueden colonizar la superficie de la carne bajo ciertas condiciones. Esto hace que la ecología microbiana del deterioro de la carne sea muy compleja y difícil de prevenir (Jay, 2000).

Bajo condiciones aeróbicas, pocas especies del género *Pseudomonas* son reconocidas por dominar el sistema carne y contribuir al deterioro debido a su capacidad de degradar glucosa y aminoácidos, incluso a temperaturas de refrigeración. Otro microorganismo de la carne que también puede estar presente en pescado deteriorado es *Brochothrix thermosphacta*. Su capacidad para crecer en carne durante condiciones de aerobiosis y anaerobiosis lo hacen un colonizador importante como flora del deterioro que produce malos olores (Pin et al., 2002). Muchos miembros de la familia Enterobacteriaceae son importantes en carne, particularmente los géneros *Serratia*, *Enterobacter*, *Pantoea*, *Proteus* y *Hafnia*, que contribuyen al deterioro (Nychas y Drosinos, 1999). Finalmente, las bacterias acidolácticas (BAL) de los géneros *Lactobacillus*, *Carnobacterium* y *Leuconostoc*, juegan un rol importante en el deterioro de carne cruda refrigerada y son reconocidas como competidores importantes de los otros grupos microbianos relacionados con cambios indeseables en la carne (Gill, 1996).

Se ha demostrado que las ondas ultrasónicas contribuyen al aumento de la seguridad microbiana y prolongan la vida útil, especialmente en alimentos con características nutricionales, sensoriales y funcionales sensibles al calor (Cao et al., 2010; Bhat et al., 2011; Wang et al., 2011). El ultrasonido a frecuencias de 20 a 100 kHz tiene la capacidad de crear efectos antimicrobianos físicos (micromecánicos) y químicos. El mecanismo total de inhibición microbiana se atribuye principalmente a la generación de cavitación intracelular que puede causar adelgazamiento de las membranas celulares, calentamiento y producción de radicales libres (Chemat et al., 2011, Ashokkumar, 2011; Kang et al., 2017). Durante el colapso de las burbujas de cavitación, se producen radicales hidroxilos. Los radicales hidroxilos se recombinan para formar peróxido de hidrógeno e hidrógeno molecular que tienen un efecto antimicrobiano debido a diferentes mecanismos que causan el adelgazamiento de la membrana celular y el daño del ADN (Chandrapala, 2015, Ferrario et al., 2015).

Se ha documentado el efecto del ultrasonido para la descontaminación microbiana y la extensión la vida de anaquel de varios alimentos como la col (Mansur y Oh, 2015), pimientos (Luo y Oh, 2015), productos lácteos (Forghani et al., 2015) vegetales frescos como la lechuga y tomates (Afari et al., 2016), carne de res (Caraveo et al., 2015), carne de pollo (Piñón et al., 2012) y carne de cerdo (Morild et al., 2011). Caraveo et al. (2015) reportaron en efecto positivo en el recuento de bacterias mesofílicas en músculo *Semitendinosus* de res, ya que dos tratamientos de ultrasonido a 60 y 90 min redujeron las

cuentas de bacterias mesofílicas, psicrófilas y coliformes. A su vez, Piñón et al. (2012) observaron una reducción en el crecimiento de *Salmonella* spp, *S. aureus* y *E. coli* en pechuga de pollo tratada con ultrasonido. Carrillo-Lopez et al. (2019) reportaron una reducción en bacterias psicrófilas y coliformes, mientras que las bacterias mesófilas se vieron incrementadas al aplicar ultrasonido (37 KHz, 7 W/cm²; 60 min; 0 y 7 d almacenamiento) en muestra de carne de m. *Longissimus dorsi*, lo cual podría considerarse como una tecnología eficiente para ser utilizada en la carne de res para mejorar su calidad y seguridad. Peña-Gonzalez et al. (2018) evaluaron el efecto de tres intensidades de ultrasonido (16, 28 y 90 W/cm²; 20 y 40 min; 0 y 7 d a 4 °C) y reportaron que el ultrasonido fue eficaz en el control de bacterias mesófilas y psicrófilas durante el almacenamiento a 4 °C cuando se utilizaron intensidades de 90 W/cm², mientras que el control del crecimiento de bacterias coliformes fue independiente de la intensidad del ultrasonido, siempre que el tiempo de sonicación sea prolongado.

Existe controversia sobre el uso del ultrasonido para el control bacteriano, Alarcón-Rojo et al. (2015) han reportado que es necesaria la combinación del ultrasonido con otros métodos físicos (calor o presión) y químicos (cloro, ácido láctico, vino tinto) para lograr una mayor inactivación microbiana. Musavian et al. (2014) reportaron que la combinación de ultrasonido y vapor (Sonovapor a 90-94 °C/ 30-40 kHz, 10 s) redujo significativamente los conteos en canales de pollo contaminadas con *Campylobacter*. Por su parte, Piñón et al. (2015)

aplicaron en carne de pollo un tratamiento combinado de ultrasonido (60 kHz, 40 W, almacenamiento por 7, 14 y 21 d) y 0.3% de aceite esencial de orégano, y observaron una disminución en los conteos de bacterias anaerobias, ácido lácticas y mesófilas durante el almacenamiento a 4 °C. Se ha demostrado que la termosonicación (75 °C y 25 kHz, 0.33Wg⁻¹) mejora la inactivación térmica de esporas de *Clostridium perfringens* en muestras de carne bovina (Silva, 2015). Asimismo, en estudios realizados en filetes de salmón (Miks-Krajnik et al., 2016) con aplicación de ultrasonido (45 kHz y 200 W, 1 min) combinado con luz UV y agua electrolizada ácida se observó una reducción en la cuenta viable total de *L. monocytogenes*. Lo anterior parece señalar que el ultrasonido tiene un efecto positivo en la inhibición del crecimiento bacteriano. Sin embargo, no todos los microorganismos reaccionan de la misma manera al tratamiento con ultrasonido. Por lo tanto, se deben estudiar los efectos sobre microorganismos específicos, especialmente aquellos que representan un riesgo en la industria cárnica.

Transferencia de masa

La carne se conserva comúnmente mediante la adición de NaCl. Este ingrediente también conduce a modificaciones estructurales dentro de la matriz de la carne que afectan el sabor, la jugosidad y la textura.

Para un curado efectivo, el NaCl debe difundirse en la matriz de la carne y alcanzar una concentración de equilibrio (Feiner, 2006).

El marinado o curado asistido por ultrasonido se propone como alternativa al proceso tradicional con el fundamento de acelerar la transferencia de masa (Leal-Ramos et al., 2011) y el aumento en la difusión de sal. Además presenta la ventaja de conservar los atributos sensoriales de los productos curados o marinados (McDonnell et al., 2014) y mejorar la distribución de los solutos (Ozuna et al., 2013) con cambios positivos en la capacidad de retención de agua y con una menor pérdida de líquidos (Siró et al., 2009). Los marinados de carne pueden contener sal en dos formas: secos o húmedos (Cárcel et al., 2007).

De acuerdo con Vlahova-Vangelova et al. (2014) la carne está compuesta por una fase líquida que actúa como un solvente para iones de sal y proteínas solubles y una fase sólida que puede considerarse como porosa, capilar y coloidal. Dependiendo de la concentración de NaCl, en la fibra muscular se producen cambios microestructurales tales como expansión o contracción de la fibra dentro de la fase sólida. Durante la expansión miofibrilar el despliegue y la expansión de la red de filamentos conducen a la reorganización del agua extramiofibrilar e intramiofibrilar. El efecto del ultrasonido de potencia durante la marinación húmeda de la carne de cerdo depende de la intensidad de ultrasonido aplicada (Leal-Ramos et al., 2011). El ultrasonido causa la formación de burbujas que golpean el tejido y lo pueden llevar a la microinyección de salmuera en la muestra. Este

efecto puede ayudar a explicar el aumento de NaCl en la carne ultrasonificada (Ozuna et al., 2013). También se ha observado que tiempos prolongados de aplicación causan desnaturalización de las proteínas (Siró et al., 2009). En un estudio se compararon los efectos de tres tratamientos de curado utilizando una salmuera saturada de NaCl bajo curado estático, con agitación, y vacío, y con la aplicación de ultrasonido a baja frecuencia con intensidad variable. No se encontraron diferencias significativas en la humedad y el contenido de NaCl en muestras tratadas en condiciones estáticas y agitación (Cárcel et al., 2007). La transferencia de masa en el salado de carne dependió de umbrales de intensidad (39 y 51 W/cm²), y por encima de éstos, el transporte de masa fue proporcional a la intensidad del ultrasonido. Al salar carne con ayuda del ultrasonido también se mejoran las propiedades de textura y la CRA de la carne (Siró et al., 2009), mientras que el coeficiente de difusión incrementa exponencialmente con el aumento de la intensidad. McDonnell *et al.* (2014) lograron una reducción de hasta el 50% en los tiempos de procesamiento, sin efectos adversos en la calidad en la producción de jamones curados; infiriendo que el ultrasonido tiene potencial en la transformación de otros productos cárnicos.

Contrariamente, el ultrasonido de baja intensidad en el marinado de carne de pollo (Smith, 2011) causa una menor absorción de agua, menor pérdida por goteo y menor rendimiento de cocinado de la carne, en comparación que con el marinado estático. Sin diferencia significativa en la dureza por efecto del ultrasonido. Contrario a lo

anterior, Ozuna et al. (2013) observaron mayor blandura de la carne de cerdo marinada con ultrasonido.

El tratamiento ultrasónico de baja intensidad y baja frecuencia y el uso de vacío causan cambios microestructurales favorables en los lomos de cerdo marinados en cloruro de sodio (Siró et al., 2009) y estos efectos dependen en gran medida de la intensidad del tratamiento con ultrasonido. Algunos de los factores críticos en el procesamiento de alimentos merecen consideración porque el ultrasonido genera cambios rápidos en la temperatura y la presión (109 °C/s) en períodos de tiempo cortos. Además, la cavitación genera ondas de choque, que contribuyen a este efecto. Los factores que modulan los efectos de la aplicación de ultrasonido incluyen el tiempo de exposición, el volumen de procesamiento y la composición de la muestra (Knorr et al., 2004; Cárcel et al., 2007). Se conoce que con intensidades bajas el campo ultrasónico producido puede ser irregular, es decir, en unas zonas puede haber más energía que en otras (Mulet et al., 2003). Esto puede ocasionar que los resultados a veces no concuerden entre autores. Otros factores que pueden influir en los experimentos con carne son el tipo de músculo, la edad y la madurez de los animales, aparte de las características ultrasónicas empleadas.

Ordaz-Portillo et al. (2012) evaluaron el efecto del ultrasonido de potencia en la difusión de cloruro de sodio durante la marinación de carne de bovino. Ellos aplicaron ultrasonido en modo pulsado y continuo durante seis tiempos de tratamiento (10, 20, 30, 40, 50 y 60 min) y con dos soluciones de inmersión (5 y 10% de NaCl). Realizaron

mediciones de concentración de sal en tres regiones de la rebanada de carne (externa, media e interna) y encontraron diferencias ($P < 0.05$) en la difusión de sal entre tratamientos e interacciones dobles significativas entre modo y región de la carne. La carne que presentó mayor difusión fue la que recibió 60 min de ultrasonido en modo continuo y con solución al 10% de NaCl. El ultrasonido en modo continuo presentó mayor difusión de sal en todas las regiones de la carne, siendo la región exterior la de mayor concentración de sal y el incremento fue proporcional al tiempo de sonicado. Ellos concluyeron que el ultrasonido de potencia puede ser una alternativa para mejorar la transferencia de cloruro de sodio en el procesado de la carne. Por otra parte, Ozuna et al. (2013) también informaron una mayor difusión de NaCl cuando se aplicó ultrasonido (40 kHz; 37 W/L; 15-120 min) a diversas concentraciones de NaCl (50, 100, 150, 200, 240 y 280 g/L NaCl). Sin embargo, Cárcel *et al.* (2007) reportaron que se requiere una intensidad mínima de 51 W/cm^2 antes de que la concentración total de NaCl aumente en la carne de cerdo. Ojha et al. (2016) informaron un pequeño efecto de ultrasonido en la transferencia de masa a baja intensidad (9 W/cm^2) pero un efecto significativo a una intensidad más alta (54.9 W/cm^2). En otro estudio (González-González et al., 2017) se reportó que el marinado asistido con ultrasonido mejoró la transferencia de NaCl. A su vez, McDonnell et al. (2018) reportaron resultados similares en músculo *longissimus thoracis et lumborum* de cerdo con tiempos de sonicación de 25, 32 y 40 min e intensidades de 4, 8, 13 y 19 W/cm^2 . Estos resultados corroboraron la

teoría de que a mayor intensidad de ultrasonido se aumenta la difusión de NaCl, lo cual se traduce en una distribución homogénea de la sal en la carne y resulta en una mejor textura.

CONSIDERACIONES FINALES

La aplicación del ultrasonido de alta intensidad (UAI) tiene un efecto sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la carne. El UAI aumenta la ternura al provocar cambios en estructura muscular; y puede mejorar las propiedades tecnológicas de la carne sin afectar negativamente otros parámetros de calidad. Asimismo, el UAI puede reducir el tiempo de curado y aumentar la transferencia de sal sin cambios significativos en otras características de la carne. El UAI tiene efectos microbiológicos al inactivar microorganismos dañando las paredes celulares y las membranas citoplásmicas y provocando efectos en componentes intracelulares.

Los resultados aún no son concluyentes, se necesitan más estudios sobre el impacto del UAI en las propiedades de la carne antes de recomendar su uso a escala industrial y estandarizar su aplicación.

REFERENCIAS

Afari, G. K., Hung, Y.C., King, H., Hu, A., 2016. Reduction of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella* Typhimurium DT 104 on fresh

produce using an automated washer with near neutral electrolyzed (NEO) water and ultrasound. Food Contr. 63, 246-254.

Alarcón-Rojo, A. D., Janacua, H., Rodríguez, J.C., Paniwnyk, L., Mason, T.J., 2015. Power ultrasound in meat processing. Meat Sci. 107, 86–93.

Ashokkumar, M., 2011. The characterization of acoustic cavitation bubbles an overview Ultras. Sonochem. 18, 864-872.

Ashokkumar, M., Mason. T., 2007. Sonochemistry, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons. Oxford, U.K.

Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D., Youssef, M.M., 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: a review. Food Res. 48, 410–427.

Azmir, J., Zaidul, I.S.M., Rahman, M.M., Sharif, K.M., Mohamed, A., Sahena F., 2013. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. J Food Eng. 117, 426–436.

Bhaskaracharya, R. S., Kentish, E., Ashokkumar, M., 2009. Selected applications of ultrasonics in food processing. Food Eng. 1, 31–49.

Bhat, R., Kamaruddin, C.N.S.B., Liong, M.T., Karim, A.A., 2011. Sonication improves kasturi lime (*Citrus microcarpa*) juice quality. Ultrason. Sonochem. 18, 1295–1300.

- Brewer, S., 2012. Quality measurements of beef. In: Nollet, L.M.L. (Ed.), *Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality*, Second edition. Wiley-Blackwell, UK, pp. 208–232.
- Cao, S., Hu, Z., Pang, B., Wang, H., Xie, H., Wu, F., 2010. Effect of ultrasound treatment on fruit decay and quality maintenance in strawberry after harvest. *Food Contr.* 21(4), 529–532.
- Caraveo, O., Alarcon-Rojas, A.D., Renteria, A., Santellano, E., L. Paniwnyk, L., 2005. Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with high-intensity ultrasound and stored at 4 °C. *J. Sci. Food Agric.* 95, 2487–2493.
- Cárcel J.A., Benedito, J., Bon, J., Mulet, A., 2007. High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Sci.* 76, 611–619.
- Chandrapala, J. 2015. Low intensity ultrasound applications on food systems. *International Food Res. J.* 22, 888–895.
- Chang, H.-J., Xu, X.-L., Zhou, G.-H., Li, C.-B., Huang, M., 2009. Effects of Characteristics Changes of Collagen on Meat Physicochemical Properties of Beef Semitendinosus Muscle during Ultrasonic Processing. *Food and Bioprocess Technology*, 5(1), 285–297.
- Chang, H.J., Xu, X.L., Zhou, G.H., Li, C.B., Huang, M., 2015. Effects of characteristics changes of collagen on meat physicochemical properties of beef semitendinosus muscle

during ultrasonic processing, Food Bioproc. Tech. 5, 285–297.

Chemat, F., Zill-e-Huma, F., Khan M.K., 2011. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. Ultrason. Sonochem. 18, 813–835.

Dainty, R.H., Edwards, R.A., Hibbard C.M., 1985. Time course of volatile compounds formation during refrigerated storage of naturally contaminated beef in air. J. Appl. Bacteriol. 59, 303–309.

de Lima Alves, L. *et al.*, 2017. Effect of ultrasound on the physicochemical and microbiological characteristics of Italian salami. Food Res. Int. 106, 363–373.

Dolatowski, Z., Stasiak, D.M., Latoch, A., 2000. Effect of ultrasound processing of meat before freezing on its texture after thawing. Electr. J. Polish. Agric. Univer. 3(2), <http://www.eipau.media.pl> Consultado 12 Febrero 2018.

Doulgeraki, A.I., Ercolini, D., Villani, F., Nychas, G.-J.E., 2012. Spoilage microbiota associated to the storage of raw meat in different conditions. International Journal of Food Microbiol. 157(2), 130–141.

Ersus-Bilek, S., Turantaş, F., 2013. Decontamination efficiency of high power ultrasound in the fruit and vegetable industry, a review. Int. J. Food Microbiol. 166, 155–162.

- Feiner, G., 2006. Meat Products Handbook – Practical Science and Technology, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, U.K.
- Feng, H., Yang, W., 2011. Ultrasonic processing. Nonthermal Processing Technologies for Food. Blackwell Publishing, U.S.A. pp. 135–155.
- Ferrario, M., Alzamora, S.M., Guerrero, S., 2015. Study of the inactivation of spoilage microorganisms in apple juice by pulsed light and ultrasound. Food Microbiol. 46, 635–642.
- Filomena-Ambrosio, A. *et al.*, 2016. Changes of the water-holding capacity and microstructure of panga and tilapia surimi gels using different stabilizers and processing methods. Food Sci. Technol. Int. 22(1), 68–78.
- Forghani, F., Eskandari, M., Oh, D.H., 2015. Application of slightly acidic electrolyzed water and ultrasound for microbial decontamination of kashk. Food Sci. Biotechnol. 24, 1011-1016.
- García de F., G.J., Nychas, G.D., Peck, M.W., Ordóñez, J.A., 1995. Growth/survival of psychrotrophic pathogens on meat packaged under modified atmospheres. Int. J. Food Microbiol. 28, 221-231.
- Gill, C.O., 1996. Extending the storage life of raw chilled meats. Meat Sci. 43, S99-S109.

- Gómez-Salazar, J.A. *et al.*, 2018. Effect of acid marination assisted by power ultrasound on the quality of rabbit meat. *J. Food Qual.* 2018, 1-6
- González-González, L., Luna-Rodríguez, L. Carrillo-López, L.M., Alarcón-Rojo, A.D., García-Galicia, I., Reyes-Villagrana, R., 2017. Ultrasound as an Alternative to Conventional Marination: Acceptability and Mass Transfer, *J. Food Qual.* 8675720, 8.
- Got. F., Culioli, J., Berge, P., Vignon, X., Astruc, T., Quideau, J.M., Lethiecq, M., 1999. Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physico-chemical properties of beef. *Meat Sci.* 51, 35-42.
- Haughton, P., Lyng, J., Morgan, D., Cronin, D., Noci, F., Fanning, S., Whyte P., 2012. An evaluation of the potential of high-intensity ultrasound for improving the microbial safety of poultry. *Food Bioprocess Technol.* 5 (3), 992–998.
- Huff-Lonergan, E., Lonergan, S.M., 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci.* 71, 194–204.
- Hunt, M.C. *et al.*, 2012. AMSA meat color measurement guidelines, American Meat Science Association, Champaign, Illinois USA.
- Istrati, D., 2008. The influence of enzymatic tenderization with papain on functional properties of adult beef. *J. Agroaliment. Processes Technol.* 14, 140–146.

- Jay, J. M. 2000. Modern Food Microbiology. 5a ed. Editorial Aspen. EUA.
- Jayasooriya, S.D., Torley, P.J. D'Arcy, B.R., Bhandari, B.R., 2007. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. Meat Sci. 75, 628-639.
- Kang, D.C., Wang, A.R., Zhou, G.H., Zhang, W.G., Xu, S.M., Guo, G.P., 2016. Power ultrasonic on mass transport of beef: effects of ultrasound intensity and NaCl concentration. Innov. Food Sci Emerg. 35, 36–44.
- Karamucki, T. *et al.*, 2006. Relationship between CIE L*a*b* and CIE L*C*h scale colour parameters determined when applying illuminant C and observer 2° and illuminant d65 and observer 10° and proximate chemical composition and quality traits of porcine longissimus lumborum muscle, Pol. J. Food Nutr. Sci. 15/56(2), 129-135.
- Kasaai, M.R., 2013. Input power-mechanism relationship for ultrasonic irradiation: food and polymer applications, Nat. Sci. 5, 14–22.
- Kek, S.P., Chin, Yusof, N.L., Y.A., 2013. Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. Food Bioprod. Process. 91(4), 495–506.

- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., Dong-Un, L., 2004. Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends Food Sci. Technol.* 15, 261-266.
- Lawrie, R., Ledward, D., 2006. *Lawrie's meat science* 7^a ed Editorial Cambridge: Woodhead Publishing Limited. London, U.K.
- Leal-Ramos, M.Y., Alarcón-Rojó, A.D., Mason, T.J., Paniwnyk, L., Alarjah, M., 2011. Ultrasound-enhanced mass transfer in Halal compared with non-Halal chicken. *J. Sci. Food Agric.* 91, 130-133.
- Lindahl, G., Lundström, K., Tornberg, E., 2001. Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. *Meat Sci.* 59(2), 141–151.
- Luo, K., Oh, D.H., 2015. Synergistic effect of slightly acidic electrolyzed water and ultrasound at mild heat temperature in microbial reduction and shelflife. *J. Microbiol. Biotechnol.* 25(9), 1502-1509
- MacDougall, D.B., 1982. Changes in the colour and opacity of meat, *Food Chem.* 9(1–2), 75–88.
- Mancini, R.A., Hunt, M.C., 2005. Current research in meat color. *Meat Sci.* 71(1), 100–121.
- Mansur, A.R., Oh, D.H., 2015. Combined effects of thermosonication and slightly acidic electrolyzed water on the microbial

quality and shelf life extension of fresh cut kale during refrigeration storage. *Food Microbiol.* 51, 154-162.

McClements, D.J., 1995. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends Food Sci. Technol.* 6, 293–299.

McDonnell, C.K., Allen, P., Duane, G., Morin, C., Casey, E., Lyng, J.G., 2018. One directional modelling to assess the mechanistic actions of power ultrasound on NaCl diffusion in pork. *Ultrason. Sonochem.* 40, 206–212.

McDonnell, C.K., Lyng, J.G., Arimi, J.M., Allen, P., 2014. The acceleration of pork curing by power ultrasound: A pilot-scale production. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 26, 191–198.

Miks-Krajnik M., Feng, L., Bang W., and Yuk H.G., 2017. Inactivation of *Listeria monocytogenes* and natural microbiota on raw salmon fillets using acidic electrolyzed water, ultraviolet light or/and ultrasounds. *Food Cont.* 74, 54-60.

Monsón, F., Sañudo, C., Sierra, I., 2005). Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in intensively reared beef. *Meat Sci.* 71(3), 471–479.

Morild, R.K., Christiansen, P., Sørensen, A.H., Nonboe, U., Aabo, S., 2011. Inactivation of pathogens on pork by steam ultrasound treatment. *J. Food Prot.* 5, 769–775.

- Mulet, A., Cárcel, J., Benedito, J., Rosselló, C., Simal, S., 2003. Ultrasonic mass transfer enhancement in food processing. In: Welti-Chanes, J., Vélez-Ruiz, J.F., Barbosa-Cánovas, G.V., (Eds.), Transport phenomena in food processing. CRC Press LLC, Florida, USA. Pp. 265-278.
- Musavian, H.S., Krebs, N.H., Nonboe, U., Corry, J.E.L., and Purnell, G., 2014. Combined steam and ultrasound treatment of broilers at slaughter: a promising intervention to significantly reduce numbers of naturally occurring campylobacters on carcasses. *Int. J. Food Microbiol.* 176, 23-28.
- Ninoles, L., 2010. Ultrasonic assessment of the melting behaviour in fat from Iberian dry-cured hams. *Meat Sci.* 85 (1), 26-32.
- Nowak, K. W. *et al.*, 2017. Ultrasound Applications in the Meat Industry. In: Bekhit, A. E.-D., (Ed.), *Advances in Meat Processing*. CRC Press. Boca Raton, Florida, U.S.A. p. 586.
- Nychas, G.E., Drosinos, E.H., 1999. Meat and poultry/spoilage of meat. In: Robinson, Richard K., (Ed.), *Encyclopedia of Food Microbiology*. Elsevier, Oxford, pp. 1253–1260.
- O’Sullivan, M.G., Byrne, D.V., Martens, M., 2003. ‘Evaluation of pork colour: Sensory colour assessment using trained and untrained sensory panellists’, *Meat Sci.* 63(1), 119–129.
- Obuz, , E., Dikeman, M.E., Loughin, T.M., 2003. Effects of cooking method, reheating, holding time, and holding temperature

on beef *longissimus lumborum* and *biceps femoris* tenderness. Meat Sci 65, 841–851.

Ojha, K.S., Keenan, D.F., Bright, A., Kerry, J.P., Tiwari, B.K., 2016. Ultrasound assisted diffusion of sodium salt replacer and effect on physicochemical properties of pork meat. Int. J. Food Sci. Technol. 51(1), 37–45.

Olivera, D.F. *et al.*, 2013. Kinetics of colour and texture changes of beef during storage. J. Food Sci. Technol. 50(4), 821–825.

Ordaz-Portillo, E.B., Alarcón-Rojo, A.D., Valenzuela-González C., 2012. Diffusion of sodium chloride in bovine meat treated with power ultrasound in continuous and pulse modes. American Society of Animal Science. Annual Meeting. Phoenix, Az. Journal Animal Science, Vol. 90, Suppl. 3/J. Dairy Sci. Vol. 95, Suppl. 2. P56.

Ozuna, C., Puig, A., García-Pérez, J.V., Mulet, A., Cárcel, J.A., 2013. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. J. Food Eng. 119, 84–93.

Patist, A., Bates D., 2008. Ultrasonic innovation in the food industry from the laboratory to the industrial production. Innovative Food Sci. Emerg. Technol. 9, 147-156.

Peña-Gonzalez, E.M., Alarcon-Rojo, A.D., Rentería A., García I., Santellano E. Quintero A., Luna, L., 2017. Quality and

sensory profile of ultrasound-treated beef. *Ital. J. Food Sci.* 29, 463-475.

Pérez Dubé, D., Andújar Robles, G., 2000. Cambios de coloración de los productos cárnicos. *Rev Cub. Aliment. Nutr.* 14(2), 114–23.

Pin, C., Garcia de Fernando, G., Ordoñez, J.A., 2002. Effect of modified atmosphere composition on the metabolism of glucose by *Brochothrix thermosphacta*. *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 4441-4447.

Piñon, M.I., Alarcón-Rojo, A.D., Rentería, A.L., Méndez, G., and Janacua-Vidales, H., 2015. Reduction of microorganisms in marinated poultry breast using oregano essential oil and power ultrasound. *Acta Alim.* 44(4), 527-533.

Pohlman F.W., Dikerman, M.E., Kropf, D.H., 1997. Effects of high intensity ultrasound treatment, storage time and cooking method on shear, sensory, instrumental color and cooking properties of packaged and unpackaged beef pectoralis Muscle. *Meat Sci.* 46, 89-100.

Rajha, H. N., N. Boussetta, N. Louka, R. G. Maroun y E. Vorobiev, 2015. Effect of alternative physical pretreatments (pulsed electric field, high voltage electrical discharges and ultrasound) on the deadend ultrafiltration of vine-shoot extracts. *Sep. Purif. Technol.* 146, 243–251.

- Saleem, R. 2016. Effect of low frequency ultrasonication on biochemical and structural properties of chicken actomyosin, *Food Chem.* 205, 43–51.
- Saleem, R., Ahmad, R., 2016. Effect of ultrasonication on secondary structure and heat induced gelation of chicken myofibrils. *J. Food Sci. Tech.* 5, 3340–3348.
- Sancheti, S.V., Gogate, P.R., 2017. A review of engineering aspects of intensification of chemical synthesis using ultrasound. *Ultrason. Sonochem.* 36, 527–543.
- Serraino, A., Bardasi, L., Riu, R., Pizzamiglio, V., Liuzzo, G., Galletti, G., Giacometti, F., Merialdi G., 2012. Visual evaluation of cattle cleanliness and correlation to carcass microbial contamination during slaughtering. *Meat Sci.* 90, 502–506.
- Sikes, A.L. *et al.*, 2014., Quality properties of pre- and post-rigor beef muscle after interventions with high frequency ultrasound. *Ultras. Sonochem.* 21(6), 2138–2143.
- Silva, F. 2015. Use of power ultrasound to enhance the thermal inactivation of *Clostridium perfringens* spores in beef slurry. *Int. J. Food Microbiol.* 206, 17-23.
- Siró, I., Vén, C.S., Balla, C.S., Jonás, G., Zeke, I., Friedrich, L., 2009. Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. *J. Food Eng.* 91, 353–362.

- Smith, D.P., 2011. Effect of ultrasonic marination on broiler breast meat quality and Salmonella contamination. *Int. J. Poultry Sci.* 10, 757-759.
- Sofos, J.N., 2008. Challenges to meat safety in the 21st century. *Meat Sci.* 78(1-2), 3–13.
- Soria, A.C., Villamiel, M., 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 21, 323–331.
- Stadnik, J., Dolatowski, Z.J., 2011. Influence of sonication on Warner-Bratzler shear force, colour and myoglobin of beef (*m. semimembranosus*). *Eur. Food Res. Technol.* 233, 553–559.
- Stadnik, J., Dolatowski, Z.J., Baranowska, H.M., 2008. Effect of ultrasound treatment on water holding properties and microstructure of beef (*m. semimembranosus*) during ageing. *LWT - Food Sci. Technol.* 41, 2151-2158.
- Stanbridge, L.H., Davies, A.R., 1998. The microbiology of chill-stored meat. In: *Microbiology of meat and poultry*. A. Davies y R. Board, (Eds.), Blackie Academic & Professional, London, U.K.
- Turantaş, F., Kılıç, G.B., Kılıç, B., 2015. Ultrasound in the meat industry: General applications and decontamination efficiency. *International J. Food Microbiol.* 198, 59–69.
- Vlahova-Vangelova, D.B., Abjanova, S., Dragoev, S.G., 2014. Influence of the marinating type on the morphological and sensory

- properties of horsemeat. *Acta Sci Pol Technol Aliment.* 13, 403–411.
- Wang, A. *et al.*, 2018. Changes in calpain activity, protein degradation and microstructure of beef *M. semitendinosus* by the application of ultrasound. *Food Chem.* 245, 724–730.
- Wang, Y., Hu, Y., Wang, J., Liu, Z., Yang, G., Geng, G., 2011. Ultrasound assisted solvent extraction of swainsonine from *Oxytropis ochrocephala* Bunge. *J. Med. Plant Res.* 5 (6), 890–894.
- Warriss, P.D., 2010 *Meat Science: An introductory text.* CABI Publishing, Wallingford, U.K.
- Xiong, G., Zhang, L., Zhan, W., Wu, J., 2012. Influence of ultrasound and proteolytic enzyme inhibitors on muscle degradation, tenderness, and cooking loss of hens during aging. *Czech J. Food Sci.* 30(3), 195–205.
- Xiong, H.J., Wang, Q., Tang, C.H., Zhou, G.H., 2015. Effects of ultrasound treatment on connective tissue collagen and meat quality of beef *semitendinosus* muscle. *J. Food Qual.* 38, 256–267.
- Zhou, G.H., Xu, X.L., Liu, Y., 2012. Preservation technologies for fresh meat a review. *Meat Sci.* 86, 119–128.



EL BÚFALO DE AGUA EN LATINOAMÉRICA



EBOOK

OPEN **6** ACCESS

3.^a edición

Directores editoriales



Fabio NAPOLITANO



Daniel MOTA ROJAS



Isabel GUERRERO LEGARRETA



Agustín ORIHUELA





El búfalo de agua en Latinoamérica

3.^a edición



EBOOK



Prólogo (2020) Prof. Rosella Di Palo PhD
Italiana experta en Búfalo de Agua

Deseo agradecer al Comité Editorial la oportunidad que me han brindado si bien completamente inmerecida, de ser parte de esta **3^a Edición** de esta obra "**El búfalo de agua en Latinoamérica, hallazgos recientes**" y a los más de 100 colaboradores de 23 países que participan en 33 capítulos y más de 1500 páginas en esta tercera edición. Anhele a los autores el mejor de los éxitos en su investigación, y a los lectores la motivación para continuar trabajando sobre y para el búfalo de agua.

Esta obra será de gran utilidad para Ganaderos, Médicos Veterinarios, Zootecnistas, Investigadores, así como libro de texto para estudiantes latinos de Veterinaria, Agronomía y Zootecnia, en cuyos programas educativos se incluye cada vez con mayor frecuencia los sistemas alternativos de producción, el bienestar animal, la calidad de vida y muerte, la huella ambiental de la producción pecuaria, el calentamiento global, la calidad de la leche y carne de los búfalos de agua, el desarrollo regional y las cadenas de valor.

ISBN: 978-607-99008-1-6



9 786079 900816


B.M. EDITORES®
S.A. DE C.V.

OPEN **6** ACCESS