

El Búfalo de Agua en las Américas

enfoques prácticos y experimentales

Isabel GUERRERO L. — Fabio NAPOLITANO — Daniel MOTA R. — Agustín ORIHUELA



2^a
EDICIÓN

E BOOK

OPEN **6** ACCESS



B.M. EDITORES[®]



EL BÚFALO DE AGUA EN LAS AMÉRICAS

Segunda Edición

EL BÚFALO DE AGUA EN LAS AMÉRICAS

Enfoques prácticos y
experimentales

2.^a Edición

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. 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 del Consejo Editorial de la revista “**Journal of Buffalo Science**”, Editorial Lifescience
Global, Canadá.
Experto en respuestas Fisiológicas, Conductuales y Bienestar de los animales domésticos.

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.

Directores Editoriales

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 los alimentos en el Departamento de Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Campus Iztapalapa. México. Ha colaborado con grupos de investigación y docencia de diferentes países de América del Norte, Latinoamérica y Europa con quienes ha editado 20 libros científicos, todos ellos relacionados con “Ciencias de los Alimentos”. 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. 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 Agrícolas (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 140 artículos científicos consignados en SCOPUS con 1700 citas y un *h*-index de 26; todos ellos vinculados en áreas temáticas de la ciencia del comportamiento, alimentación y bienestar de pequeños y grandes rumiantes con énfasis en BÚFALO DE AGUA. 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. 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, en donde actualmente es Comisionado del Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud. Dirige 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. Ha colaborado con grupos de investigación y docencia de China, Brasil, Inglaterra, Argentina, España, Cuba, Colombia, Italia y Australia. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT en México (nivel III). Es Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, de la Academia Veterinaria Mexicana y del Consejo Editorial de la revista *Journal of Buffalo Science*, Editorial Lifescience Global, Canadá.

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 Estados Unidos, 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.



Todos los derechos reservados del libro electrónico e impreso:
“**EL BÚFALO DE AGUA EN LAS AMÉRICAS, Enfoques prácticos y experimentales**” pertenecen a la Editorial
BM Editores S.A. de C.V. México y a los Editores compiladores.

© 2019 BM Editores S.A. de C.V.

Segunda edición, 2019.

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 Brasil, Argentina, Chile, España, Italia, Canadá, México, Uruguay, Colombia, Bolivia, Honduras, Venezuela, Guatemala, Paraguay, Cuba, Perú, El Salvador y Costa Rica.

ISBN: 978-607-99008-0-9

Editado y producido en Ciudad de México, México.

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

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, en donde actualmente es Comisionado del Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud. Dirige la Línea de Investigación: Fisiopatología del Estrés, Comportamiento y Bienestar de los Animales Domésticos. 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 del Consejo Editorial de la revista Journal of Buffalo Science, Editorial Lifescience Global, Canadá.

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. Actualmente es Jefa del Departamento y durante el periodo de 2016 a 2020. 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 Pecuario (UNAM). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT en México. Nivel 1.

COLABORADORES

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). 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.

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. Dirige 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 del Consejo Editorial de la revista Journal of Buffalo Science, Editorial Lifescience Global, Canadá.

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).

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”.

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, bufalina, equina y bienestar animal.

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.

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. 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). Las áreas de interés son la Reproducción, el Comportamiento y el Bienestar Animal.

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.

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. 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. 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”.

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). Pertenece 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”.

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 e Ciencias Biológicas de la Universidad Federal de Santa María (UFSC) y Coordinadora del Laboratorio Ambiente y Bienestar Animal (UFSC). Área de investigación: Ambiente y bienestar en animales de granja.

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. Miembro del cuerpo editorial de la revista “Food Research International”.

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.

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. 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. Ha editado 5 libros en la temática de Reproducción en Bovinos y Bufalinos.

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. 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, 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.

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).

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. Actualmente es Jefa del Departamento y durante el periodo de 2016 a 2020. 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.

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. Él 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.

Dr. Emilio Sabia (Italia). Asistente de investigación en la “Free University of Bolzano”. Doctorado en Ciencias Pecuarias en el sector ganadero. Especialista en sistemas de cría e impacto ambiental. Miembro del Consejo Editorial de la revista Journal of Buffalo Science, Editorial Lifescience Global, Canadá.

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).

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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. 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.

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. 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.

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 PROMEP.

Lic. Zoot. Sucel 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.

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.

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.

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. 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.

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 45 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.

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.

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, medicina interna de perros y gatos.

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.

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 Secretaría 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. Clemente Lemus Flores (México). Doctor en Ciencias y Especialista en Producción Animal y Mejora Genética de la Calidad de la Carne. Es experto en Calidad de la Carne de animales de granja especialmente en animales criollos. Actualmente es Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Nayarit (México), en la línea de investigación Nutrigenómica en el Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias. Cuenta con publicaciones nacionales e internacionales en revistas indizadas a Scopus y Web of Science. Sus temas de interés son Ciencia de los alimentos, estrés *antemortem* y nutrigenómica.

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 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. Actualmente se encuentra cursando el Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud por la UAM.

C. 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, 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.

C. 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 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 15 años de experiencia centrada en fisiología, clínica y patología.

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.

EL BÚFALO DE AGUA EN LAS AMÉRICAS

Segunda Edición

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

Diseño de portada Fernando Puga Rosales.

El Búfalo de Agua en las Américas

enfoques prácticos y experimentales

Isabel GUERRERO L. — Fabio NAPOLITANO — Daniel MOTA R. — Agustín ORIHUELA

PRÓLOGO SEGUNDA EDICIÓN - (2019)



Prof. Dr. Fabio Napolitano PhD.



Italia



Experto y líder de investigación con más de 140 artículos científicos consignados en SCOPUS con 1700 citas y un h-index de 26. Todos ellos vinculados en áreas temáticas de la ciencia del comportamiento, alimentación y bienestar de pequeños y grandes rumiantes con énfasis en **BÚFALO DE AGUA**.

Es profesor investigador de tiempo completo de la Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, en Potenza, Italia. Ha sido miembro del Comité Científico de revisores externos por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y es el Editor en Jefe de la revista "**Journal of Buffalo Science**" Lifescience Global, Canadá.

Prologue (english version)

Although less cosmopolitan than cattle (i.e. farmed in a lower number of countries), according to FAO, the number of farmed river buffaloes (*Bubalus bubalis*) has increased more than that of cattle in the last 50 years. In addition, this species has been introduced in novel environments

both in intensive and extensive conditions and is currently spreading from Asia and Europe to other countries, including those located in the Latin American region. These data suggest that river buffaloes are attracting the interest of several stakeholders. In particular, to farmers the lower morbidity, the ability to efficiently use low quality forages and the adaptability to tropical environments represent the main positive aspects of this species. Conversely, consumers and entrepreneurs are attracted by the specific characteristics of the products and their corresponding high differentiation potential, which may favour higher customer satisfaction and the acquisition of additional market shares, respectively. River buffaloes possess specific anatomic and physiological characteristics corresponding to specific adaptation mechanisms needing particular attention when introducing these animals in novel environments. In fact, if inappropriate farming techniques are applied the behavioural needs of river buffaloes may be overlooked and their welfare compromised. Therefore, a focus on the main issues of buffalo farming in the Latin American area is needed. In particular, the negative effects of simply transferring the rearing techniques used for cattle to buffaloes, as often occurred in Europe, should be prevented by applying farming practices specific to river buffaloes.

I would like to thank the valuable effort of these four years of hard work of more than 50 authors from 14 different countries contributing to this book and its readers.

I send my best wishes for this new work to be successful.

Prólogo en Español

Aunque menos cosmopolita que el ganado (*Bos indicus* y *Bos taurus*) (es decir, producido en un número menor de países), según la FAO, el número de búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) ha aumentado más que el de ganado en los últimos 50 años. Además, esta especie ha sido introducida en ambientes novedosos tanto en condiciones intensivas como extensivas y actualmente se está extendiendo desde Asia y Europa a otros países,

incluidos los ubicados en el región latinoamericana. Estos datos sugieren que los búfalos de agua están atrayendo el interés de varios empresarios.

Especialmente para los ganaderos, la menor morbilidad, la capacidad de utilizar de manera eficiente forrajes de baja calidad y la adaptabilidad a los ambientes tropicales representan los principales aspectos positivos y áreas de oportunidad para la crianza de esta especie. En otro sentido, los consumidores y empresarios se sienten atraídos por las características específicas de los productos y su correspondiente alto potencial de diferenciación, lo que puede favorecer una mayor satisfacción del cliente y la adquisición de cuotas de mercado adicionales, respectivamente.

Los búfalos de agua poseen características anatómicas y fisiológicas específicas correspondientes a mecanismos de adaptación también específicos que requieren una atención especial al introducir estos animales en entornos novedosos. De hecho, si se aplican prácticas zootécnicas inapropiadas, las necesidades de comportamiento de los búfalos de agua pueden pasarse por alto y su bienestar puede verse comprometido.

Por lo tanto, es necesario centrarse en los principales problemas de la cría de búfalos en la región de América Latina. En particular, los efectos negativos de simplemente transferir las técnicas de cría utilizadas para el ganado vacuno del género *Bos* a los búfalos; como ocurre a menudo en Europa, deben evitarse aplicando prácticas zootécnicas específicas para los búfalos de agua.

Aprovecho para agradecer el valioso esfuerzo de éstos cuatro años de trabajo arduo de cada uno de los más de 50 autores de 14 países, en beneficio de ésta nueva edición del libro y de sus lectores.

Envío mis mejores deseos de éxito para la difusión y promoción de ésta nueva obra.

Fabio Napolitano



SECCIÓN I

DESEMPEÑO PRODUCTIVO: CARNE, LECHE y LABORES RURALES

Capítulo 1.

27

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

Capítulo 2.

51

Comportamiento y bienestar de la búfala lechera

Capítulo 3.

81

Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales

Capítulo 4.

115

Análisis comparativo entre búfalos de agua y ganado vacuno del género *Bos*: aspectos fisiológicos, anatómicos y productivos

Capítulo 5.

154

Hallazgos recientes sobre la búfala lechera: inventario animal, razas, aspectos reproductivos, de salud y calidad

Capítulo 6.

192

El búfalo de agua productor de carne por el mundo: indicadores productivos y sanitarios

SECCIÓN I

DESEMPEÑO PRODUCTIVO: CARNE, LECHE y LABORES RURALES

Capítulo 7.

225

Los sistemas de producción de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico

Capítulo 8.

264

La importancia de los animales en labores rurales: tracción, transporte y carga

SECCIÓN II

ASPECTOS REPRODUCTIVOS: PARTO, DESTETE Y ORDEÑO

Capítulo 9.

299

La búfala de agua durante el parto y ordeño: respuestas fisiológicas y conductuales.

Capítulo 10.

332

Distocia en búfalas: complicaciones obstétricas

Capítulo 11.

357

Factores de riesgo fetales y maternos que predisponen a mortinatos en búfalas

SECCIÓN II

ASPECTOS REPRODUCTIVOS: PARTO, DESTETE Y ORDEÑO

Capítulo 12.

380

Mecanismos neurofisiológicos de la impronta en la búfala y otros animales de granja

Capítulo 13.

426

Estrategias de destete para incrementar la productividad y el bienestar animal en búfalo de agua y ganado cebú

Capítulo 14.

461

Hallazgos reproductivos en el búfalo de agua mediante el uso de la termografía infrarroja

Capítulo 15.

489

Ordeño manual y mecánico: vínculos con productividad, bienestar animal y rentabilidad

SECCIÓN III

TERMORREGULACIÓN Y AMBIENTE

512

Capítulo 16.

Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja

SECCIÓN III

TERMORREGULACIÓN Y AMBIENTE

Capítulo 17.

539

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

Capítulo 18.

582

La huella ambiental de la producción pecuaria

SECCIÓN IV

CALIDAD DE MUERTE

Capítulo 19.

631

Reflejos de sensibilidad durante la muerte en búfalos y reses para evaluar la calidad del aturdimiento

Capítulo 20.

663

Calidad de la muerte en búfalos y reses

SECCIÓN V

CALIDAD DEL PRODUCTO

Capítulo 21.

714

Manejo previo a la muerte y calidad de la carne del búfalo

Capítulo 22.

759

Propiedades físicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua

Capítulo 23.

786

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

Capítulo 24.

820

Propiedades físicoquímicas de la leche de búfala

Capítulo 25.

842

El queso mozzarella: inocuidad, adulteración, comercialización y perspectivas a futuro



SECCIÓN I



DESEMPEÑO PRODUCTIVO

Carne, leche y labores rurales

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

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 1

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

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

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, 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 del búfalo de agua.

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), que deben ser mucho más eficientes y sustentables para la producción de alimentos de alto valor biológico, como la carne y la leche. 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*).

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., 2019; Guerrero-Legarreta et al., 2019).

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). 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., 2019; Bertoni et al., 2019). 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., 2019). 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).

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; Bertoni et al., 2019), 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 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., 2019; Mota-Rojas et al., 2019).

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; Bertoni et al., 2019). 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., 2019).

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., 2019; Bertoni et al., 2019). 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.

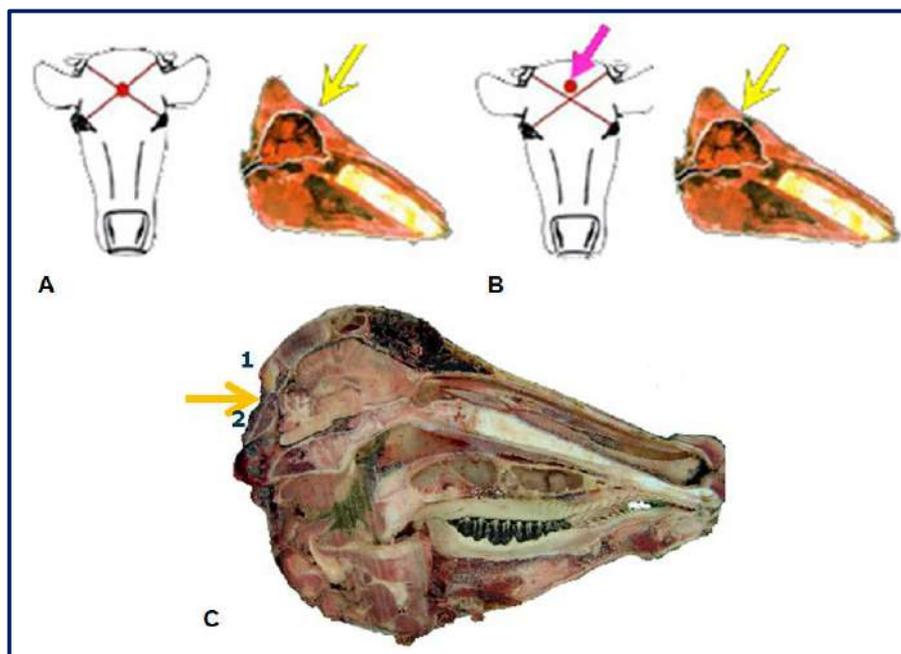
Los resultados reportan que después de unas semanas de cambiar el consumo de carne de vacuno del género *Bos* por la de búfalo, los consumidores mostraron beneficios en los biomarcadores sanguíneos relacionados con riesgo cardiovascular. Se encontraron bajos niveles totales de colesterol, altos niveles 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 nucal (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 nucal, entre ambos puntos depresión del hueso occipital. Las flechas indican la dirección en que debe orientarse el disparo.



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. 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 Francis 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.

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.

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)

La carne de búfalo es demandada en los mercados internacionales por ser una carne sana, de calidad, con ternura 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%3%BAfalosUnaAlternativaDeProducci%C3%B3nParaElDepartamentoConcordia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 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. Estudio comparativo de algunas 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.
- 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-Razas_bovinas_y_bufalinas.pdf
- Bertoni, M.A., Álvarez, M.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.
- 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.

- 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., Winckler, 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., Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J., 2019. El búfalo de agua, versátil y rústico como productor de carne. *Agro Meat*. Buenos Aires, Argentina.; Febrero: 1-10.

- 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
- 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., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero, L.I., Napolitano, F., 2019. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. *CAB Rev.* (035); 14, 1-14. doi: 10.1079/PAVSNNR201914035
- 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.

Comportamiento y bienestar de la búfala lechera

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 2

Comportamiento y bienestar de la búfala lechera

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

INTRODUCCIÓN

El proceso de intensificación de la producción de leche ha propiciado que los búfalos avancen paulatinamente hacia el confinamiento. En sistemas de producción intensivos, el bienestar de la búfala lechera se ha convertido en una consideración importante, reconociendo el papel fundamental del bienestar en la salud animal, la productividad y la calidad e inocuidad del producto (Salzano et al., 2016).

Lo anterior se ha originado por la creciente demanda de los consumidores sobre una gran variedad de productos lácteos y la reciente integración de los búfalos en las unidades productivas, ya que después de las vacas lecheras, el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) es considerado como la especie más importante por su rendimiento y alta calidad lechera.

En este sentido, el bienestar de los búfalos se empieza a comprometer y empieza a tener 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., 2019). 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.

Para ello, es necesario aplicar protocolos de evaluación del bienestar animal; sin embargo, los indicadores o las escalas usadas para búfalo, son adaptaciones de las utilizadas en ganado vacuno del género *Bos*, por lo que es necesario generar los indicadores específicos validados, confiables y repetibles para búfalas lecheras a nivel de la unidad de producción. Por ello es importante resaltar que diferentes grupos de investigadores han estado investigando sobre ello.

Existen hallazgos científicos recientes relacionados con el bienestar de las búfala lechera tratando de establecer cuáles son los indicadores basados específicamente en 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).

En otro sentido, y debido al incremento en la demanda de productos lácteos por los consumidores, ha surgido un gran interés por incorporar otras especies animales (Catillo et al., 2002), por lo cual en varios países los bovinos tradicionales del género *Bos*, están siendo sustituidos por búfalos (Fericean, 2016) con el fin de ampliar la oferta de 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 incrementa día con día, ya que después de las vacas lecheras, el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) es considerado como la especie más importante gracias a sus bondades, entre las que destacan: prolificidad, precocidad, rusticidad, longevidad, producción y alto valor nutricional de la leche (Fericean, 2016; Mitat, 2011).

Es relevante resaltar que a partir de su introducción en los ranchos ganaderos, a las búfalas lecheras se les trata y maneja como bovinos tradicionales, sin tomar en cuenta que los primeros son más rústicos (con gran capacidad de adaptación a ambientes adversos) y criados en sistemas extensivos, mientras que los segundos son más especializados y, por lo general, criados en sistemas semintensivos o intensivos (Mota-Rojas et al., 2019).

En el presente capítulo, también hablaremos de los factores adversos y modificaciones conductuales que enfrenta la búfala lechera frente a la intensificación (Mota-Rojas et al., 2019) (**Figura 1**).

El objetivo del presente capítulo es discutir y analizar los efectos positivos y negativos que los factores vinculados con el animal y los del entorno, ejercen sobre el bienestar de la búfala lechera en diferentes sistemas de producción.

Figura 1. Factores adversos del confinamiento. Como consecuencia de la intensificación y del interés económico por el incremento del consumo de los productos, en su crianza los búfalos se han expuesto a nuevos estímulos ocasionados por diversas tecnologías aplicadas regularmente en vacas lecheras (incremento del contacto humano, cambio de dieta, reducción del espacio disponible y sin duda el cambio de ordeño manual a tecnificado). Estas prácticas, sin duda, han perjudicado a la salud de las búfalas incrementando el número de lesiones y afectándose la interacción humano-búfala positiva. Adicionalmente provocando alteraciones de la conducta asociados a la intensificación tanto en la madre como en las crías. Por otro lado en ocasiones el diseño de las instalaciones no permite que el búfalo pueda modular su respuesta térmica, lo que puede ocasionar estrés calórico que afectará el consumo de alimento y la producción de leche (De Rosa et al., 2007a; De Rosa et al., 2009a,b; Bertoni et al., 2019). Por ello es importante conocer más del comportamiento de la especie que permita incrementar su productividad sin afectar el nivel de confort del animal.



COMPORTAMIENTO Y BIENESTAR DEL BÚFALO EN SISTEMA EXTENSIVO

Los animales tienen necesidades básicas que imprescindiblemente deben ser satisfechas –aquellas cosas o actividades que son esenciales para la vida-, pero para lograr un buen bienestar también tienen necesidades que, aunque no son esenciales para la supervivencia, mejoran sus condiciones de vida y con ello también su productividad (Fraser, 2006). El incremento de la productividad en las unidades de producción se ha conseguido mediante el aumento de la eficiencia productiva de los animales (Broom, 2004), lo cual se ha logrado, a través de 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). No obstante, se sabe que estos cambios en la intensificación de la producción no necesariamente influyen positivamente en el bienestar de los animales (Appleby, 1997). Se debe tener claridad en que el bienestar es una característica del animal, no es algo que el ser humano le pueda dar o brindar.

El bienestar del individuo surge de satisfacer sus necesidades propias y las de la especie. Los seres humanos no damos o brindamos bienestar, 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 los componentes de ese lugar (factores macro y

microclimáticos, topografía, altitud, latitud, alimento, agua, relaciones sociales dentro del grupo, entre otros). Solo será considerado un ambiente como apropiado, cuando le permita al animal satisfacer sus necesidades (Appleby, 1997; Mota-Rojas et al., 2016).

En las praderas de 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).

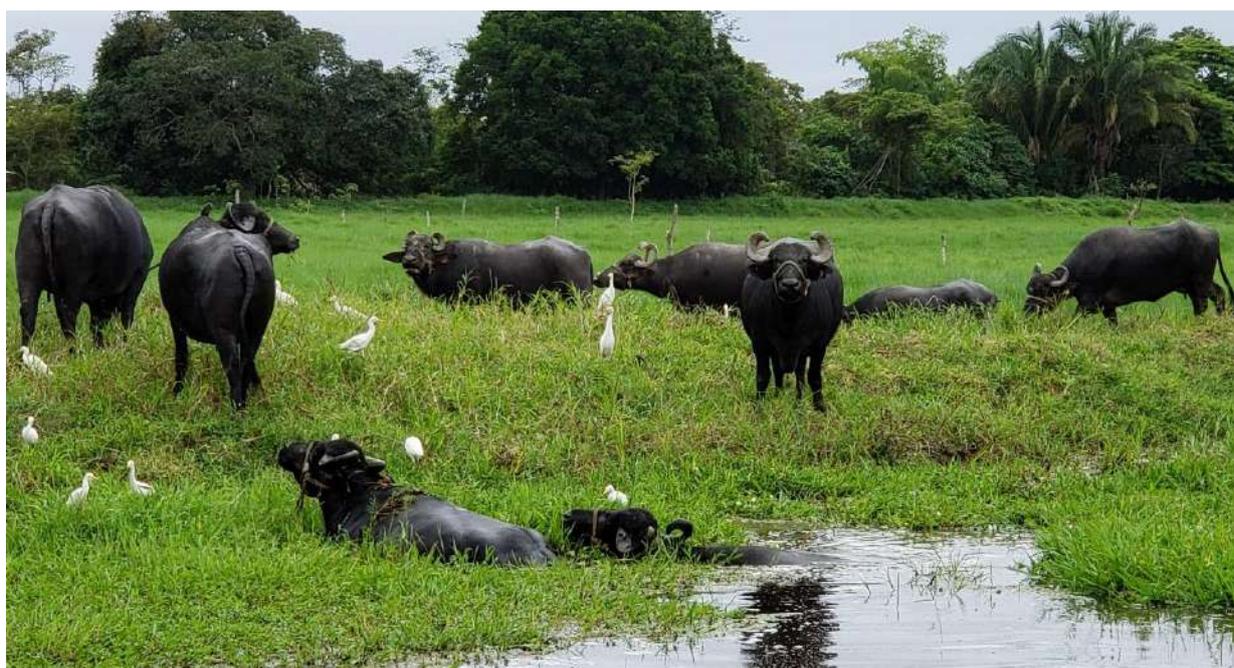
El peso, edad, gestación y producción de leche tienen efecto sobre la duración del pastoreo (Fericean, 2016); sin embargo, el tiempo de pastoreo se ve reducido si en las praderas hay charcos con barro (lodo) y las temperaturas son elevadas, ya que las búfalas lecheras tienden a permanecer mucho más tiempo del día, alrededor de 4 a 6 horas, tomando baños con barro para refrescarse (Fericean, 2016; Bertoni et al., 2019).

Cabe señalar que los ambientes silvopastoriles, además de proporcionarles gran variedad de alimentos y sombra, permiten a los búfalos expresar sus comportamientos naturales y se incrementa la frecuencia de conductas relacionadas con la exploración del entorno y de sus coespecíficos (Mora-Medina et al., 2018a; Mota-Rojas et al., 2019). Los búfalos a diferencia de los bovinos convencionales pueden aprovechar mejor las características presentes en sistemas silvopastoriles.

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 expresar mecanismos conductuales de termorregulación.

En ese mismo orden de ideas, Trupaldi et al. (2004) han demostrado que los animales que se encuentran en ambientes confortables, en condiciones similares a sus hábitats naturales, que promueven el bienestar, las búfalas muestran una menor respuesta de la corteza suprarrenal debido a que las hembras tienen más oportunidad de elegir el sitio donde desean permanecer para alimentarse o refrescarse (Trupaldi et al., 2004) o explorando el sitio (Napolitano et al., 2013), de acuerdo con las variaciones en las condiciones del microambiente (Cuadro 1).

Figura 2. Sistemas extensivos de producción en el trópico húmedo Latinoamericano



La disposición de charcas tiene efectos benéficos sobre el bienestar de los búfalos de agua, ya que les permite expresar su comportamiento termorregulador. Estudios realizados por diferentes investigadores, señalan que perduran más tiempo en lodazales (más de 5 horas al día) (De Rosa et al., 2009a; Marai y Haebe, 2010; Napolitano et al., 2013; Mora-Medina et al., 2018a; Mota-Rojas et al., 2019; Bertoni et al., 2019). En búfalas Mediterráneo se encontraron efectos benéficos evidenciados por un mayor número de interacciones sociales como acicalarse y olerse, pasan más tiempo explorando y caminando sin afectar la calidad de leche (De Rosa et al., 2007a). Para mayores detalles de sistemas confinado *versus* pastoreo recomendamos consulten Mora-Medina et al. (2018a). Si 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 consulte 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 es introducida en 1895 por la Guyana Francesa para ser usado como animal de trabajo. En la década de los 80 del Siglo XX llegaron a la isla los primeros ejemplares unos 3 000 cabezas tipo Bufalipso y de Pantano o Carabao utilizado con fines cárnicos, pero 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 2984 búfalos, de ellos

279 del tipo Río (Bufalipso) y 2705 de Pantano (Carabao), producto de la selección de un rebaño de Trinidad y Tobago. En Cuba en sus inicios se adoptó los Sistemas extensivos para garantizar su fomento y desarrollo (Pages, 2003).

Respecto a su comportamiento reproductivo en sistema extensivo, tenemos que 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, 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 (Salzano et al., 2016). Sin embargo, usualmente se piensa que los sistemas de producción extensivos son buenos 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 o bien el tratamiento de alguna enfermedad (Marchant et al., 2000).

En cambio, los sistemas intensivos o de confinamiento se cree que son malos porque la libertad de elección y movimientos están restringidos, sin embargo, catalogar a un sistema por el simple hecho de evaluar la facilidad o restricción de movimientos no es suficiente argumento 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 respuestas de estrés que en la mayoría de las ocasiones, afecta de manera negativa a los animales (Veissier et al., 2008).

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 niveles pobres de bienestar. Lo anterior puede ser explicado debido a que se ha buscado la eficiencia sin considerar en la misma proporción el funcionamiento biológico de los animales (Broom y Corke, 2002; Mota-Rojas et al., 2016).

Dicho lo anterior, no sólo hay que 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 comportamiento de los búfalos (Tripaldi et al., 2004; Mora-Medina et al., 2018ab; Mota-Rojas et al., 2019).

Las condiciones del alojamiento son 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). 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 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 de leche de búfalas de agua



Recientemente 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). Entre 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.

La máquina de ordeño puede ocasionar estrés debido al ruido o por la falta de 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 de agresión y miedo en los animales (Polikarpus et al., 2014a,b), así como la probabilidad de tener 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 asocio 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. Lo anterior, se considera como una recomendación más 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).

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 por 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. (2018); 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. (2018).
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 post-parto ↑↑ Agotamiento de la madre ↓ Conducta materna (epimelético) ↓ Conducta del becerro (Et-epimelético) ↑↑ Infección uterina	Mohammad and Abdel-Rahman, (2013). Purohit, et al. (2011); Purohit, et al. (2012); Yadav, et al. (2009); Jadon et al. (2005). González-Lozano et al., (2019).
	Sal de ordeña	Estimulación durante actividades pre-ordeño. Estabilidad en las rutinas Orden de ingreso de las búfalas debe ser constante	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</i> o <i>Streptococcus agalactiae</i>) Estrés agudo:	Singh et al. (2017); Cavallina et al. (2008); De Rosa, et al. (2009a); Saltalamacchia, et al. (2007);

		Habitación pre-ordeño: ↓↓ estrés, reactividad conductual y mejora rendimiento lechero		separación de crías, ambientes novedosos Manejo agresivo o brusco del ordeñador. ↓↓ eyección de leche.	Khan y Muhammad, (2005) Borghese, et al. (2007) Alí, et al. (2011).
Destete		Administración de oxitocina exógena, ↓↓ estrés, ↑ eyección de leche. ↑ 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 becerro: ↑ [cortisol sanguíneo] ↑ Predisposición de enfermedades ↑ Conductas anormales (succión a objetos o coespecíficos; enrollar la lengua) ↑ Lesiones en coespecíficos (prepuccio, 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 la región de Asia, se ha determinado que en el búfalo lechero la época del año donde se dan 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 donde los periodos de gestación se reducen (Shah et al., 1989) (Cuadro 1).

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, en 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 consideren como una excelente oportunidad de negocio, sin pleno conocimiento 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, que validen el bienestar de la búfala, así como la calidad final de la leche; pues es claro apreciar 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, M.A., Álvarez, M.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.
- 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., Gasparri, 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., Sejjan, 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., 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. doi: 10.1079/PAVSNNR201914035
- 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>
- 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 murrh 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.
- 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.
- 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.

Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 3

Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales

Aldo Bertoni, Adolfo Álvarez y Daniel Mota¹

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

¹El presente capítulo fue publicado previamente como artículo en la revista Sociedades Rurales Producción y Medio Ambiente 2019, 19 (38): 59-80. Se publica con aprobación del Editor en Jefe.

cuales son aprovechados de manera eficaz por esta especie (García et al., 2011; Romero y Pérez, 2014).

De los búfalos se suele obtener de manera simultánea leche y carne; no obstante, en algunos casos, son usados con un tercer propósito, como animales de trabajo. 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*)². El objetivo central consistió en examinar y ponderar las posibilidades de desarrollo de esta especie en las regiones tropicales de Latinoamérica.

² El capítulo hace referencia al búfalo de agua que con fines prácticos se refiere simplemente como búfalo.

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 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).

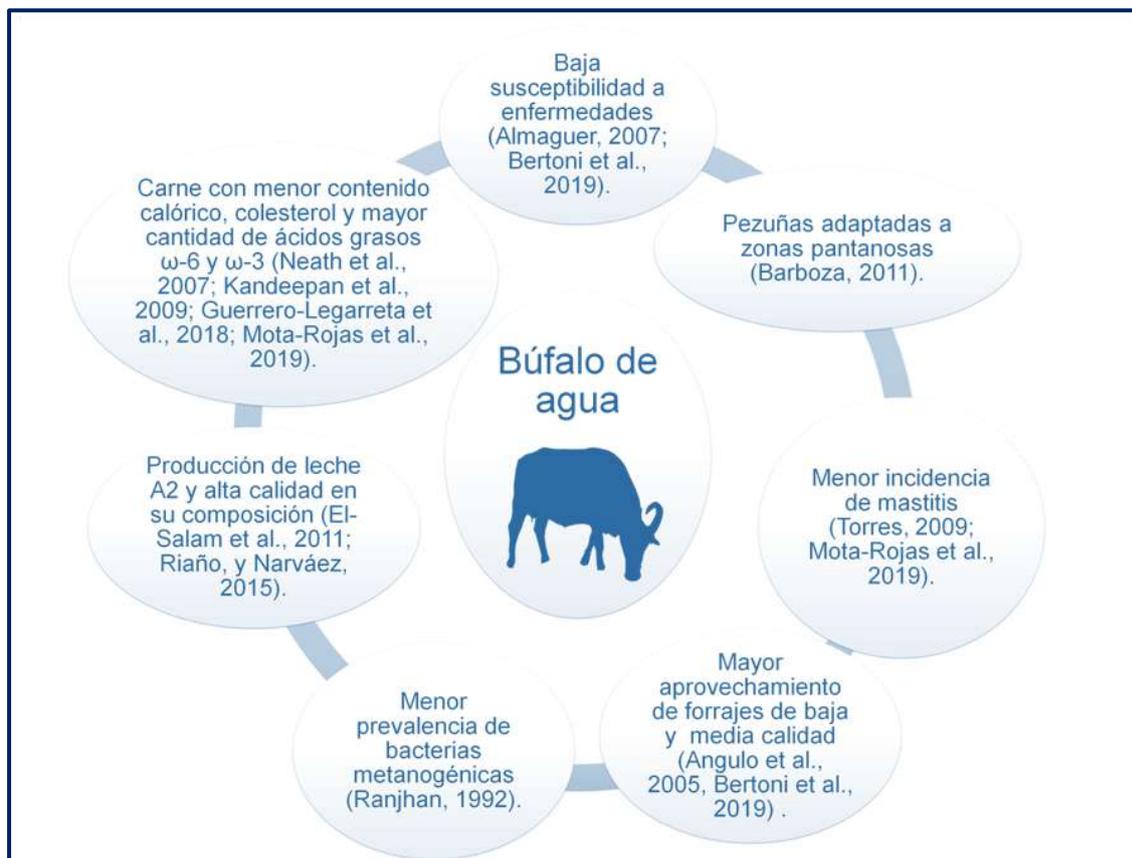
3.3. Resistencia a enfermedades

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 morfofisiología 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. (2019).

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).

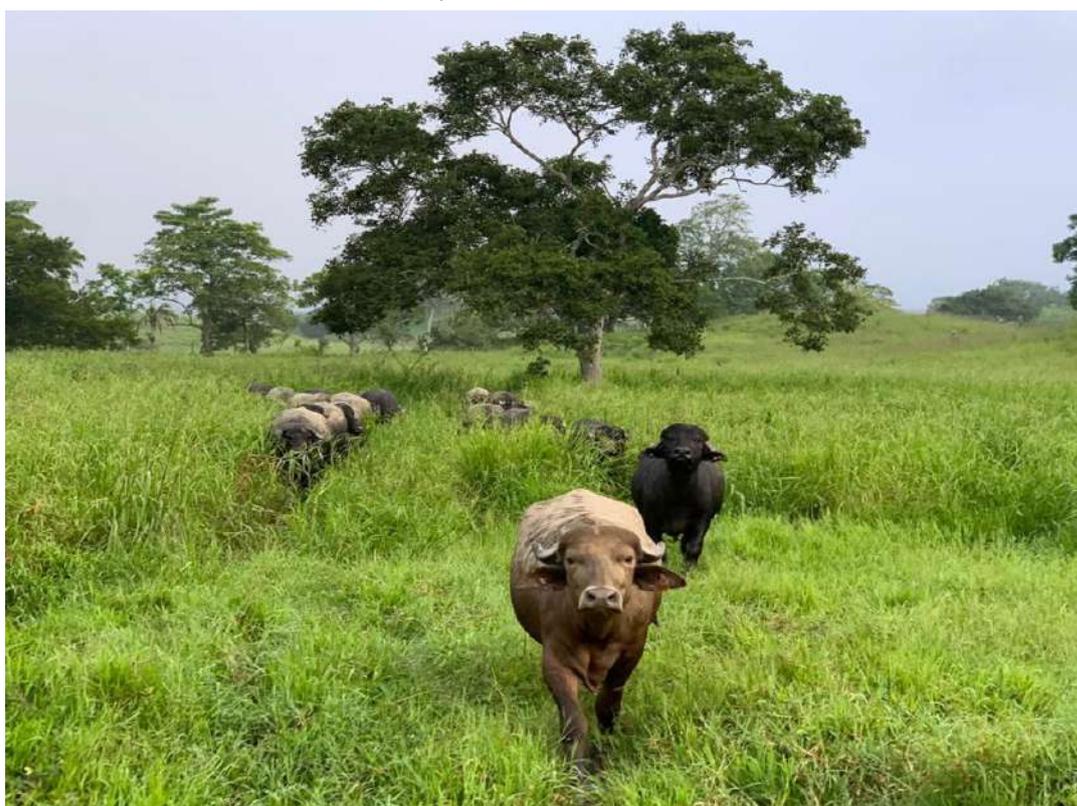
Otra vertiente explorada ha sido la de los sistemas agrosilvopastoriles, en los que el componente arbóreo -que sirve como sombra y barrera contra vientos- incide positivamente en la termorregulación de los búfalos (Cubbage et al., 2012). Este tipo de sistema, al combinar, diferentes estratos vegetales (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.

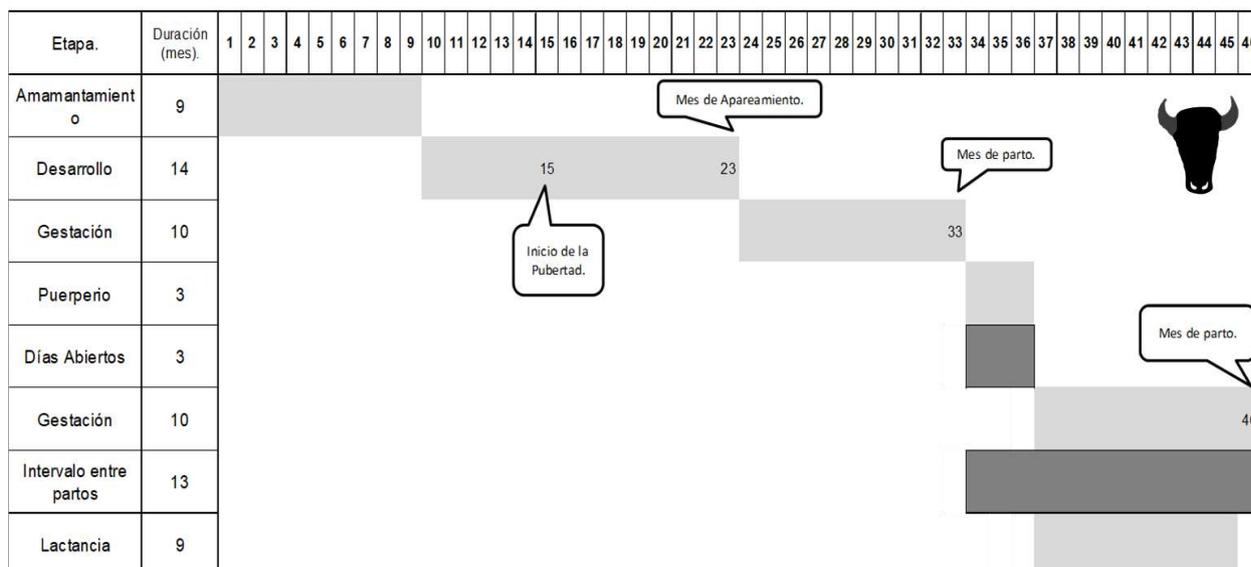
Al mismo tiempo que inicia la lactancia, comienza una serie de modificaciones fisiológicas en el útero de la búfala para recuperarse de las transformaciones sufridas durante la preñez, de modo que sea posible la siguiente gestación. Este proceso, conocido como puerperio, indica que la involución uterina 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

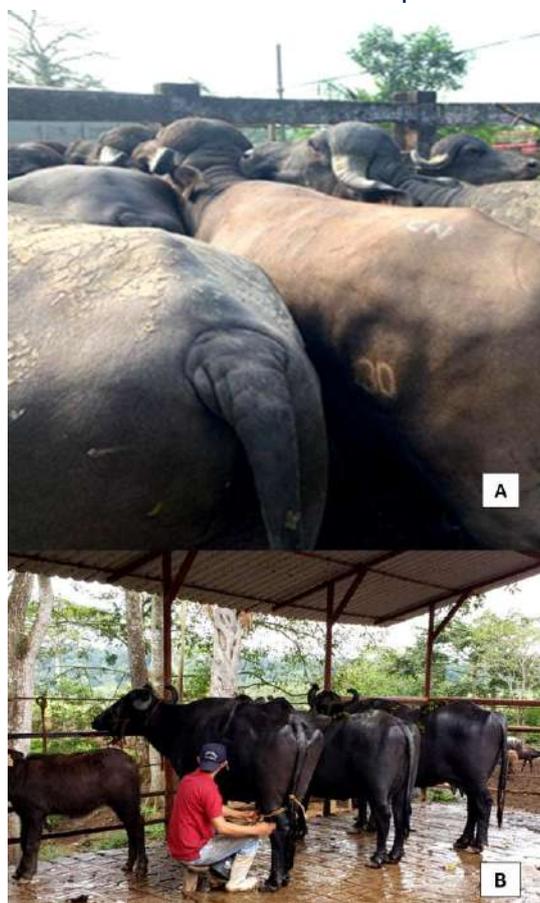


De igual forma, se experimentan sincronizaciones de estro para la desestacionalización de los ciclos de las búfalas (Figura 4), lo cual permite mejorar genéticamente al ganado y disponer de lotes con potencial para producir todo el año, a fin de atender la creciente demanda de alimentos de buena calidad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

Cuadro 2. Comparativo de composición de leche de la vaca, cabra y búfala

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

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. Technol. 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., Terramocchia, 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, M.A., Álvarez, M.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.
- 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 Búfalos, 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.
- 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., Gasparri, 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.
- 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.
- Lopéz, 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., 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. doi: 10.1079/PAVSNNR201914035
- 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. Agrícola. 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>
- 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_forestal_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.

Análisis comparativo entre búfalos de agua y ganado vacuno del género Bos: aspectos fisiológicos, anatómicos y productivos

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 4

Análisis comparativo entre búfalos de agua y ganado vacuno del género *Bos*: aspectos fisiológicos, anatómicos y productivos

Aldo Bertoni, Daniel Mota, Fabio Napolitano, Emilio Sabia, Adolfo Álvarez, Ada Braghieri, Patricia Mora, Antonio Di Francia, Armando Morales, Jesús Berdugo, Rosy G. Cruz e Isabel Guerrero

1. 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. 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).

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) 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).

En esas condiciones, el búfalo de agua se ha empleado como animal de doble o triple propósito (leche, carne y trabajo), 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., 2019). 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.

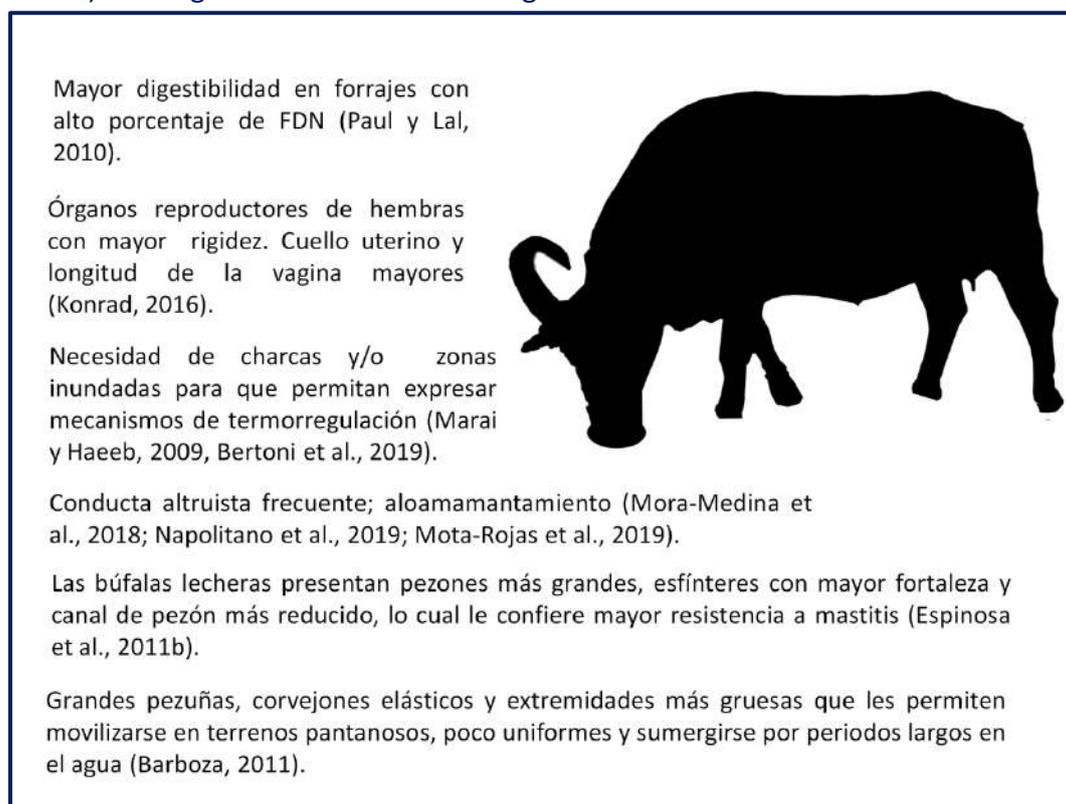
2. ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA

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., 2019).

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.

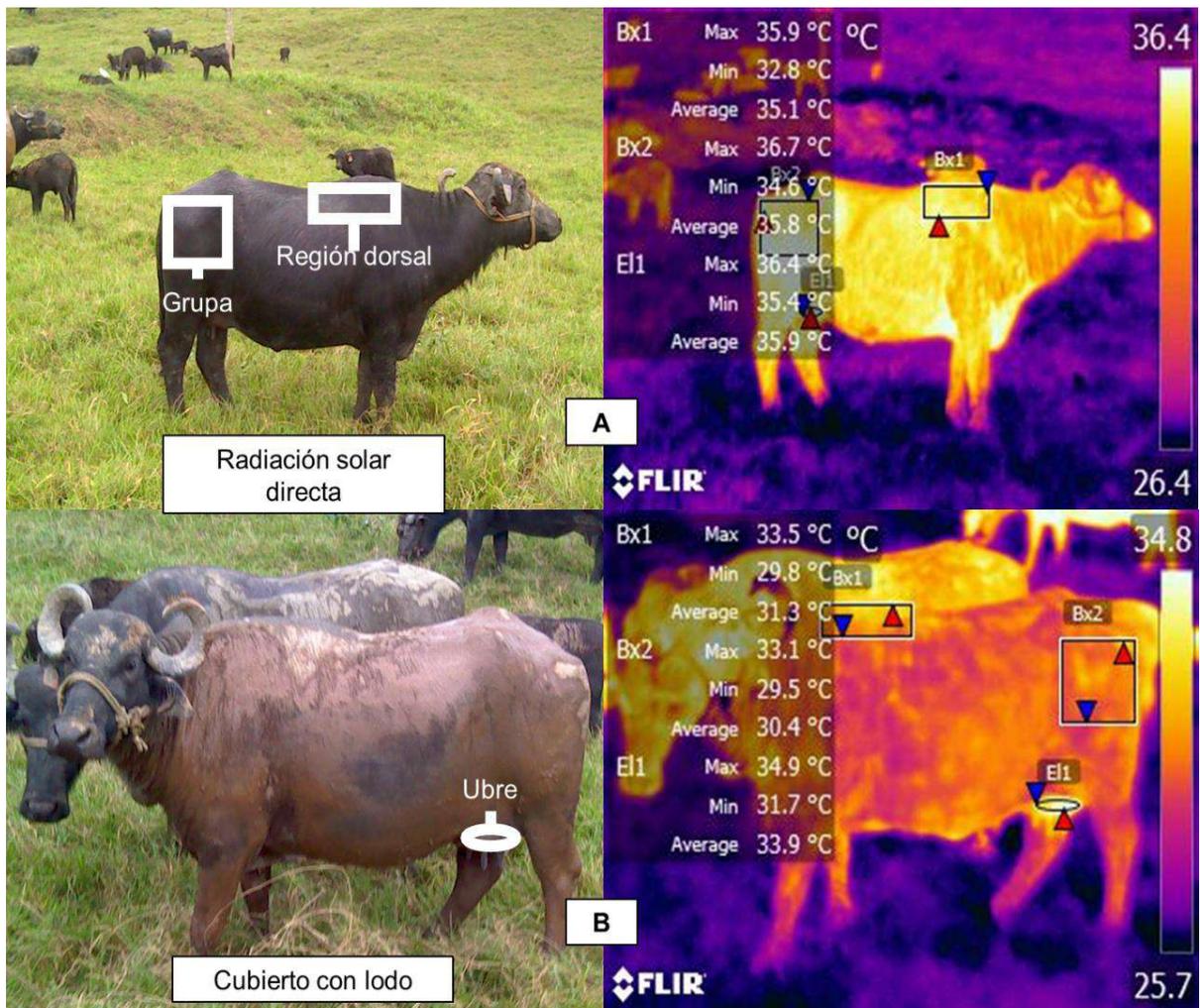
Las razas lecheras de bovinos convencionales han tendido a desarrollarse principalmente en zonas templadas, sin embargo, su productividad se suele perturbar al someterlas a condiciones climáticas estresantes (alta temperatura y humedad) que menoscaban su bienestar animal. Por ello, se ha procedido a 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 Haezeb, 2009; Berdugo-Gutiérrez et al., 2019; Bertoni et al., 2019).

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 Haezeb, 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 (E1) 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.



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 doméstico; utilizó un buey 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 alérgicos 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 movilizarse 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).

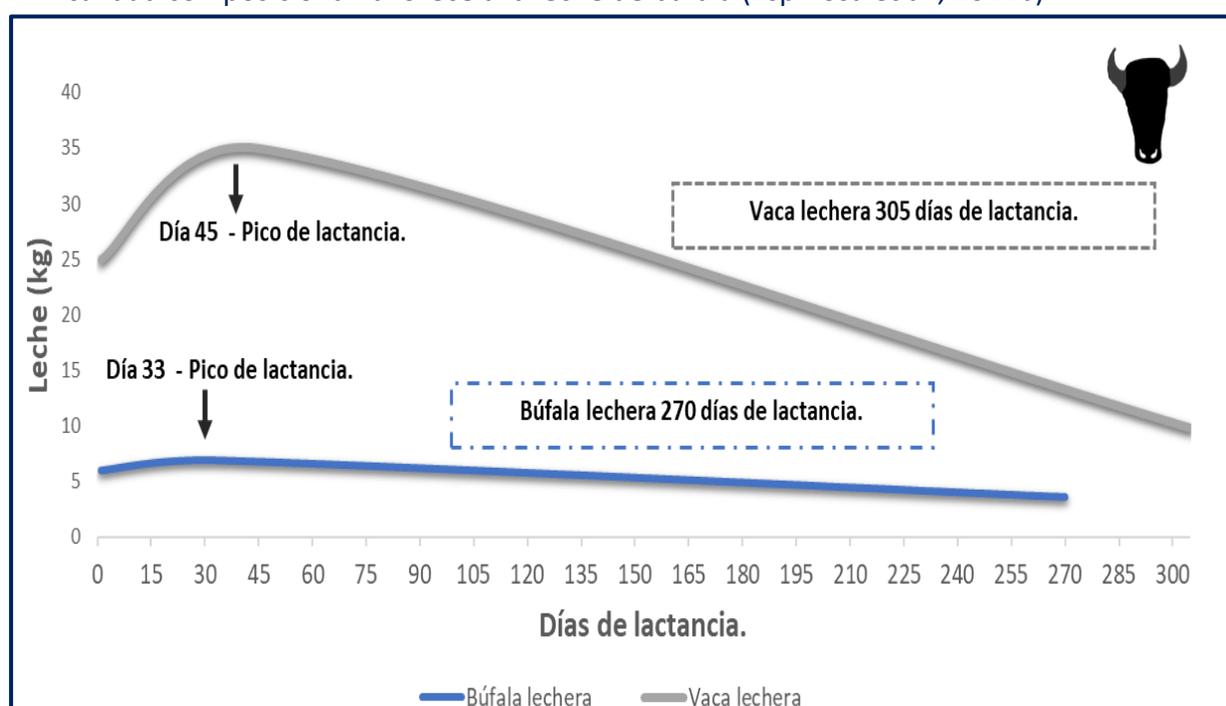
4. NIVEL DE PRODUCCIÓN LÁCTEA DE ACUERDO CON EL SISTEMA PRODUCTIVO

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., 2019). 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.

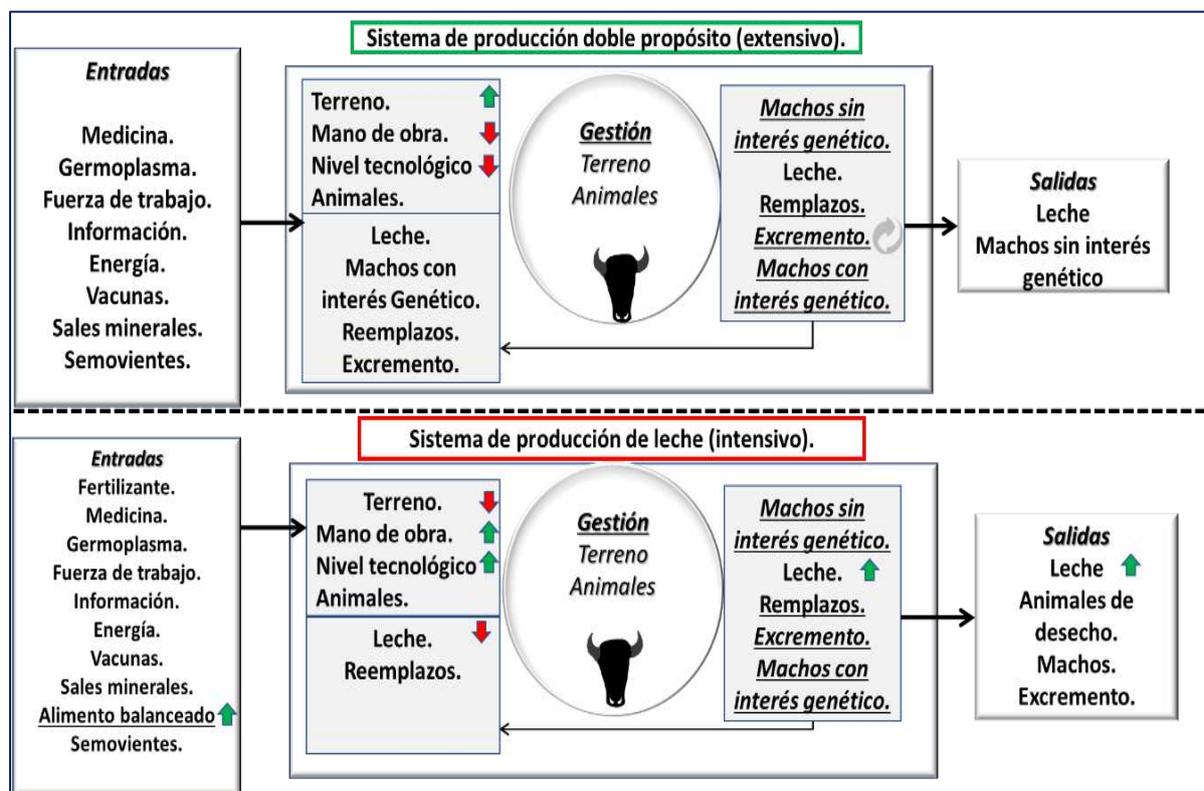
Las características que sustentan la diferenciación de estos sistemas residen en el aprovechamiento de la tierra, nivel tecnológico, orientación zootécnica,

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 transportado 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.

6. 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, M.A., Álvarez, M.A.G., Mota-Rojas, D., 2019. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. *Soc. Rurales Prod. Med. Amb.* 38, 59-80.
- 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.
- 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., Gasparri, 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, I. 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, L., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Cruz, R.G.M., Mora- Medina, P., Berdugo, G., 2019. El Búfalo de Agua: versátil, rústico y sostenible como productor de carne. *Agro Meat Argentina*. 1-10.
- 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., Haeeb, 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., De la Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero, L.I., Napolitano, F., 2019. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. *CAB Reviews.* 14, 1-9. <https://doi.org/10.1079/PAVSNR201914035>
- 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>
- 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 brief 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.

Hallazgos recientes sobre la búfala lechera: inventario animal, razas, aspectos reproductivos, de salud y calidad

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 5

Hallazgos recientes sobre la búfala lechera: inventario animal, razas, aspectos reproductivos, de salud y calidad

Fabio Napolitano, Daniel Mota, Giuseppe De Rosa, Ada Braghieri, Adolfo Álvarez, Karla Flores, Jocelyn Gómez, Gisela López, Isabel Guerrero, Aldo Bertoni, Ramiro Ramírez y Francesco Serrapica

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el búfalo de agua ha tenido un aumento importante en el número de cabezas, del 2008 al 2018 se reportó un crecimiento del 11%, destacando la India, uno de los países con mayor concentración (FAO, 2018). De los búfalos se suele obtener de manera simultánea leche y carne; en especial, es una especie conocida particularmente por su producción de leche ya que aporta el 15% de la producción mundial, ocupando el segundo lugar en orden de importancia, después de la vaca (FAO, 2018). La producción láctea mayormente se ha concentrado en países asiáticos dentro de los cuales destaca la India y Pakistán donde se produce 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 características de importancia para la producción de leche (Bertoni et al., 2019).

Dicho lo anterior, la leche de búfalo se ha ido incluyendo paulatinamente a la dieta en diferentes partes del mundo debido a sus características nutricionales sobresalientes como 3% más 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 en 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).

La evidencia científica disponible ha develado que las propiedades y la calidad tanto de la leche de búfalo como de sus subproductos se ven influenciadas por factores como el régimen alimenticio, las condiciones ambientales y el método de producción primaria (Sabia et al., 2019; Shelke et al., 2012); es por ello que se han desarrollado investigaciones para analizar el efecto que tienen diversas dietas y formas de conservación del producto, entre otros aspectos. De hecho, también se han estudiado aspectos reproductivos y patologías que pueden restringir la producción de la búfala lechera, como la mastitis (Jingar, 2014), pues su estudio puede coadyuvar en la identificación de los procesos a seguir para potenciar y, en otro sentido, lo que se debe evitar para mejorar la producción y calidad láctea 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 productora de leche en el mundo.

INVENTARIO MUNDIAL DEL BÚFALO

De acuerdo a la FAO, en el 2018 se registró una población de búfalos en el mundo de más de 206 millones de cabezas, concentradas en el continente

asiático, con el 97.4% del inventario 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., 2014).

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 el 2008, 2013 y 2018, en el cual se destaca un crecimiento de todos los continentes excepto en África, con un decrecimiento del 13% en dicho periodo.

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 es un aspecto clave en la producción láctea, entre los rasgos deseables para una hembra 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, buen desarrollo de del sistema mamario.

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%
Oceania	210	37,784,838	271	37,015,482	29%	-2%

Fuente: FAO, 2018

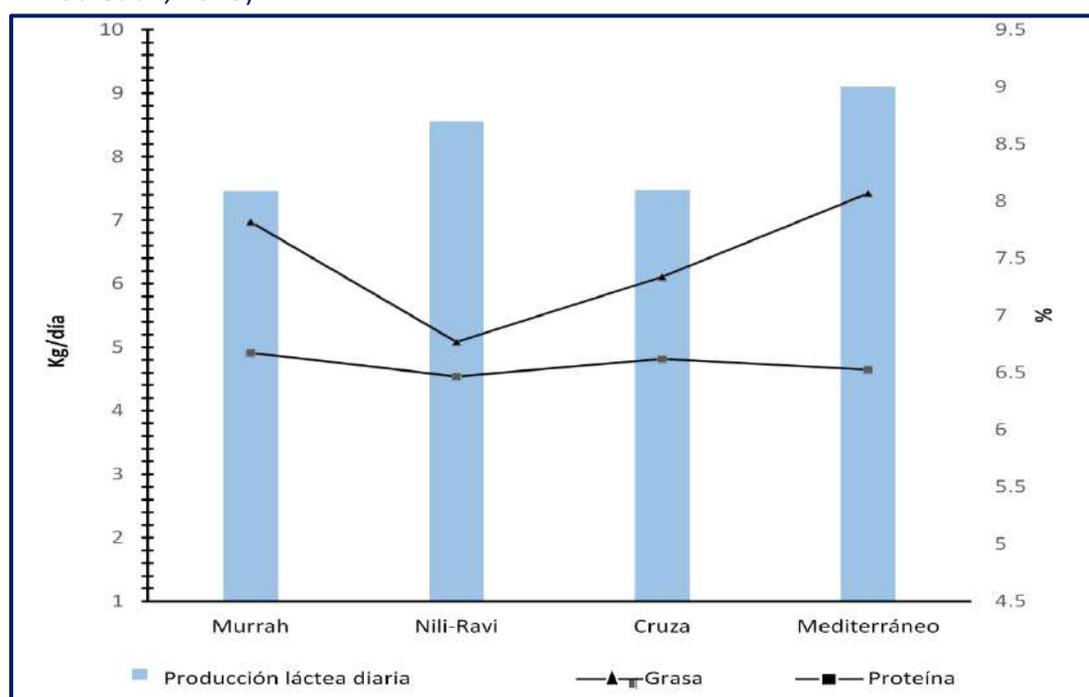
Cabe destacar la importancia del adecuado desarrollo de los cuartos traseros, pues se estima que el 60% de la leche total proviene de ellos (Zava y Sansinena, 2017). De manera más específica, para la producción láctea se buscan hembras económicamente rentables, que tengan la capacidad de transformar grandes cantidades de alimento en leche de buena calidad composicional además de tener una mayor permanencia en la unidad de producción (Polihronov y Aleksiev, 1979).

Considerando estas características es que se ha optado por privilegiar ciertas razas en 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 más 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). Respecto a Europa, las búfalas mediterráneas mantienen lactancias promedio de 270 días con 2,462 kg/lactancia con de 8.07% y 4.65%, grasa y proteína, respectivamente (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, posee 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 largo con un pecho ancho y profundo, y una 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 utiliza la raza Mehsana, la cual posee peculiaridades de Surti y Murrah, donde se destaca una ubre bien desarrollada y posicionada, además de venas mamarias prominentes. 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 se emplean las razas Azeri, que posee ubres en forma de campana, y Mazandarani; en Nepal recurren a las razas Lime, Parkote y Tarai (Moioli, 2005; Mingala et al., 2017). También se llegan a utilizar 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 pueden adoptarse en sistemas de doble propósito (Cockrill, 1981).

Cabe resaltar que a pesar de emplear las mismas razas, el rendimiento de lactancia puede variar entre países, como es el caso de la raza Nili-Ravi que en años anteriores reportó un rendimiento de 1,820 kg en India, mientras que en China se registró una producción de leche de aproximadamente 2,262 kg (Borghese y Mazzi, 2005), lo que dependen del medio ambiente, gestión de las fincas y, más específicamente, del manejo del hato.

En los países europeos se ha adoptado 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 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).

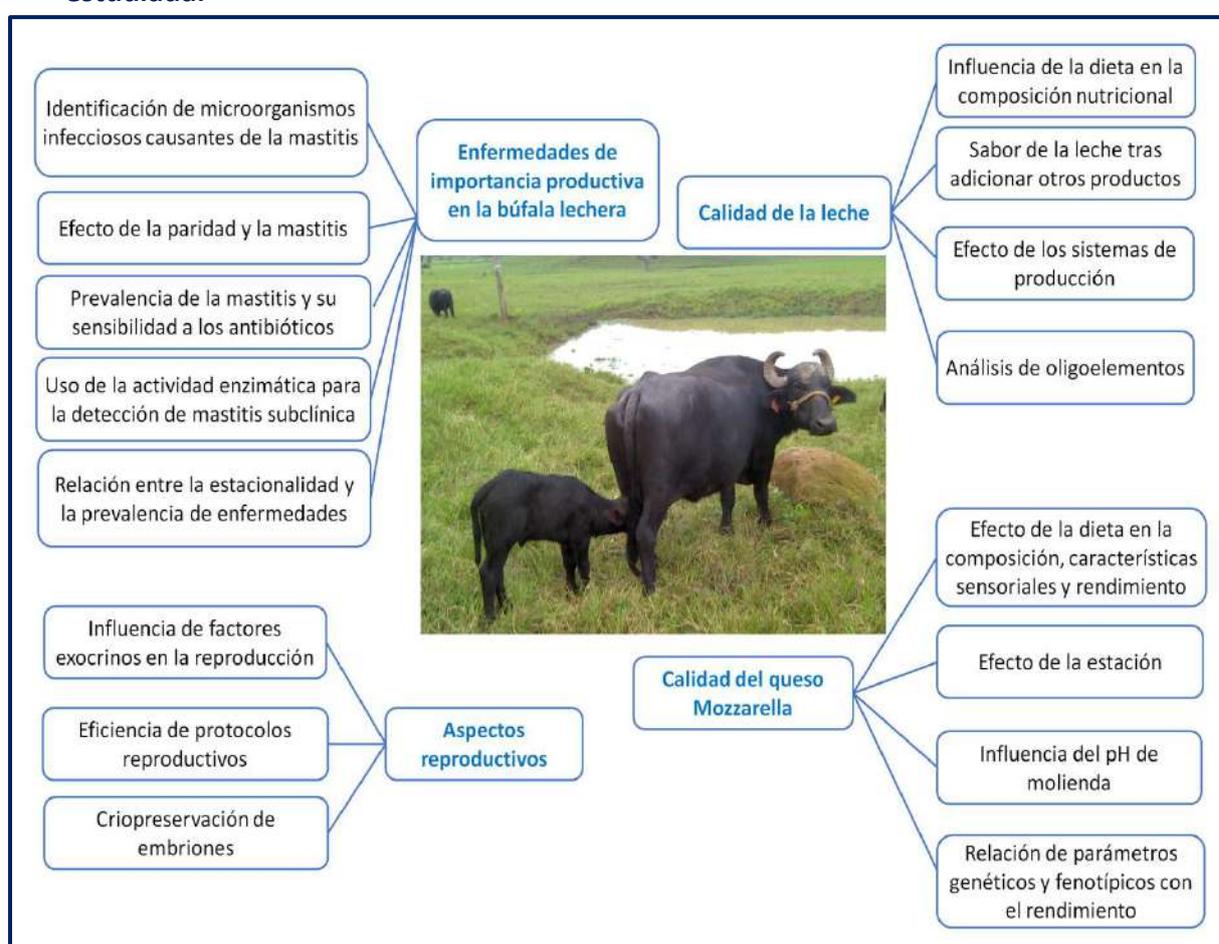
Respecto al continente americano, tanto en Brasil como en Argentina se han priorizado las razas Murrah, Mediterráneo y Jafarabadi, al igual que las cruces entre ellas (Borghese y Mazzi, 2005).

En la actualidad se han puesto en marcha una gran variedad de investigaciones enfocadas en la búfala lechera. Dichos estudios han tenido como foco temas sobre 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 cacahuate) en la composición nutricional de la leche; el efecto en el sabor tras adicionar otros productos como la calabaza; el efecto de los sistemas de producción sobre la calidad. De manera similar, se ha indagado 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. Temáticas y áreas del conocimiento donde la búfala lechera está siendo estudiada.



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 (Parnpai et al., 2016). Durante 2016-2017, India produjo 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 India, posicionando a esta especie como la primera elección para el sector lácteo y cárnico en este país (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 fotoperiodos, nutrición, manejo, humedad y temperatura, entre otros, así como factores endocrinos, sobre todo de tipos hormonal y metabólico siendo IGF1, insulina, prolactina, 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 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 tiene también largos períodos de gestación que típicamente van de 300 a 320 días a diferencia del ganado vacuno, ya que en los casos de *Bos taurus* y *Bos indicus* suelen requerir lapsos de 279 a 283 días y 290 a 293 días, de manera respectiva.

La alta influencia que tienen ciertos factores exocrinos sobre la reproducción de esta especie la ha convertido en una especie digna de estudio. Por ejemplo, en los trópicos y subtropicos donde la temperatura y la humedad en verano son altas se ha demostrado que repercute en el periodo de anestro prolongado (Perera, 2011). Algunos investigadores indican que se debe a altos niveles de prolactina, 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 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 (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, desencadena que se pierda la integridad de la membrana o se lesionan con mayor facilidad al momento de la congelación provocando choque osmótico y la consecuente pérdida de células (Parnpai et al., 2016).

A diferencia de los ovocitos de bovinos, los ovocitos 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 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).

En búfalo 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 tiene efectos beneficiosos para la gametogénesis además de una mejor respuesta en 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 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) estiman 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 obstaculizado el desarrollo de conductas normales. 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 de 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 vacas 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 preocupaciones que figuran 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, mismos que podrían aumentar el riesgo de contraer la enfermedad; empero, también poseen un canal de pezón largo y estrecho lo cual podría nulificar la invasión de microorganismos (Fagiolo y Lai, 2007).

Con ello, investigaciones sobre mastitis en búfalos brindan aspectos relevantes para la identificación de microorganismos infecciosos causantes de la enfermedad, mismos que pueden variar por región, además de que pueden propiciar nuevos métodos de diagnóstico en búfalos. Al respecto, un estudio realizado en India por Jingar (2014), tras una evaluación de 12 años, se determinó el efecto de la paridad 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 menor incidencia de mastitis en los segundos (26.26) en comparación con las vacas (36.90, 38.46, 33.98, 33.44 Karan Fries, Karan Swiss, Sahiwal y Tharparkar respectivamente). Además, los búfalos no evidenciaron un efecto significativo entre la paridad y la mastitis, en comparación con los bovinos, que conforme se incrementan el número de partos se eleva la incidencia de 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. 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, mismas que podrían ser parte importante 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 una función de mantenimiento de las respuestas inmunitarias 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, las aportaciones divulgadas en India han abonado a un diagnóstico oportuno para las búfalas de agua. 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 fosfatasa alcalina y Zn 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 es un aporte valioso, pues no sólo se promueve el bienestar el 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 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 enfermedades que los primeros, de esta forma mejora su bienestar y productividad en regiones cálidas y húmedas, las cuales generalmente inducen a un mayor padecimiento de esta y otras enfermedades (Deb et al., 2016).

En países como Pakistán, la aportación del búfalo de agua es relevante en la economía ganadera del país. 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).

Se le brinda 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 obtenido su prevalencia mediante técnicas de aglutinación rápida en placa de Rosa de Bengala y ELISA, bajo el estudio de tres fincas se determinó una serovalencia a *B. abortus* del 12 % mediante la prueba de Rosa de Bengala, los cuales fueron confirmados a través 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 muy 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 la ejecución de programas de prevención entre los que se podría considerar la restricción de importaciones de animales positivos (Fosgate et al., 2011).

Otra de las afecciones recurrentes en los búfalos lecheros es el parasitismo, que afecta la producción de leche, retraso en el crecimiento y 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, basado en determinar el perfil de 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 parásitos como coccidias, tripanosoma y parásitos hepáticos, disminuyeron la tasa de crecimiento de los terneros. Además, la 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 elevadas en bovinos que en búfalos (582.44 ± 8.13 y 475.86 ± 11.29), mientras que el conteo de oocistos por gramo consistió en 425.00 ± 20.37 en vacunos y 251.75 ± 22.35 en búfalos.

También identificaron una correlación alta entre la lluvia y temperatura en ambas especies en el conteo de huevos por gramo y oocistos por gramo. En esa línea, los autores infieren que el clima en esa región propicia el desarrollo de parásitos.

Por su parte, en México (sureste de Veracruz y parte central del estado de Tabasco), bajo el objetivo de determinar los parásitos gastrointestinales en búfalos Murrah en condiciones del trópico húmedo, Ojeda et al. (2017), encontraron que el 42% de 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 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 Diarrea Viral Bovina, denotan asociación con la presencia de abortos en las fincas ganaderas (Galiero, 2016).

ASPÉCTOS GENERALES DE LA LECHE

Aunque se ha elaborado un capítulo donde se discutirán y analizarán los atributos fisicoquímicos, sensoriales y 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 encontrado 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 ellos es la alimentación de los animales, por ejemplo, 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 y el grupo de tratamiento 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

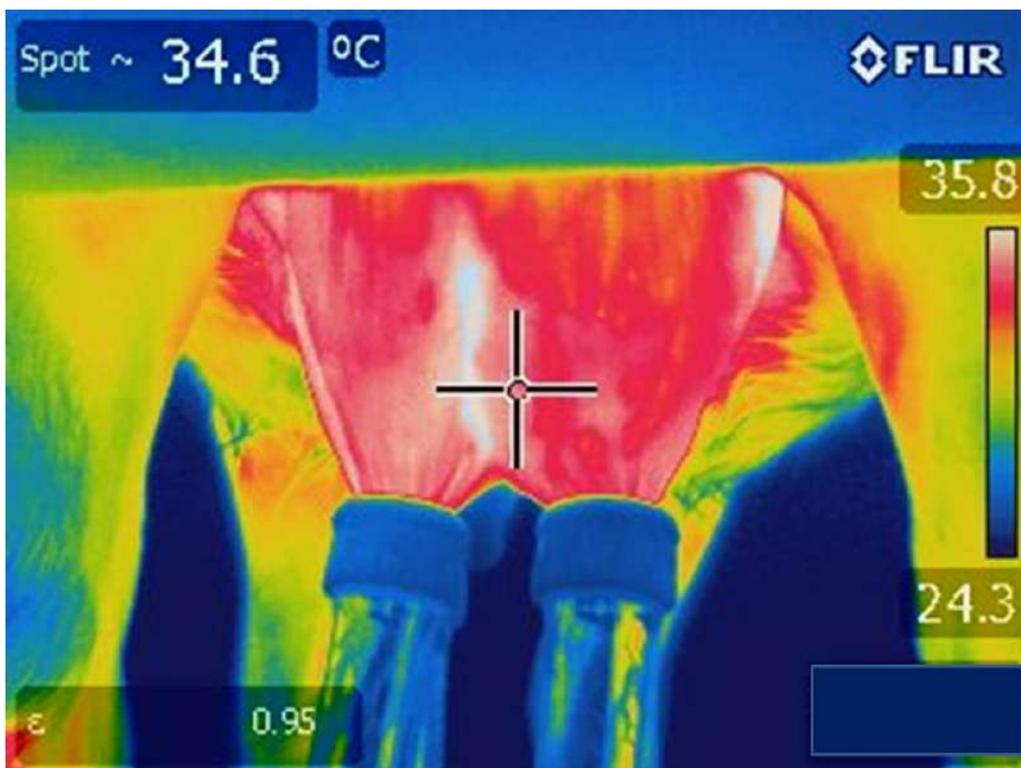
porcentaje de proteína, lactosa y sólidos no grasos fueron similares en ambos grupos.

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) realizaron la preparación de 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 quienes tomaron en cuenta el sabor, color y apariencia; el análisis nutricional se hizo 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 y se concluye que este crecimiento es 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 leche de búfalo 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 los quesos; estos resultados pueden variar ya que las condiciones, instalaciones y métodos utilizados puede predisponer la variación de estos valores.

Figura 5. 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).



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 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 los reportados por la literatura y no representan riesgo para la salud humana.

ACTUALIDADES DEL QUESO MOZZARELLA

Uno de los quesos con mayor producción y difusión a lo largo del mundo es el queso mozzarella, que es precisamente uno de los subproductos de la leche de búfalo 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 Italia uno de los países con más investigaciones registradas en este ámbito, dado que una gran proporción de la leche producida 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 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 el efecto 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 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), analizaron 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 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 el administrar 20 kg de forraje fresco en la dieta de las búfalas lactantes puede resultar en una estrategia de bajo costo que incida 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 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 señalaron mayor preferencia por los quesos producidos en esta estación.

En Pakistán, tras estudiar la influencia del pH, el almacenamiento en la calidad (color, textura y apariencia) y el perfil de ácidos grasos del queso Mozzarella, Gulzar et al. (2019) reportaron que la blancura disminuyó significativamente a medida que se prolongaba el tiempo de almacenado y disminuía el pH (de 5.2 a 4.9). Referente a la textura, la dureza disminuyó 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 decreció 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 de los consumidores.

También se ha investigado la relación de parámetros genéticos y fenotípicos con el rendimiento de 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 registran múltiples investigaciones que empiezan a revelar tanto las potencialidades como las limitantes de los búfalos de agua como productores de leche. Estos avances se han concentrado en la producción primaria, pero también 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 alta calidad y rendimiento la elaboración de productos como el queso mozzarella que detenta amplio reconocimiento en el ámbito internacional. Sin embargo, todavía es necesario profundizar las investigaciones en diferentes latitudes, caracterizando los sistemas de producción bufalinos, las condiciones físico bióticas en las que se desarrollan, así como evaluar animales de diferentes razas, distintas etapas reproductivas y edades, el efecto de cada dieta, así como las instalaciones y equipo con las que se generan microambientes para los animales, ya que son factores que inciden en la eficiencia productiva, el rendimiento y calidad de la leche de esta especie.

En ese sentido, en este documento se ha priorizado la revisión de aspectos relevantes en cuanto a ubicar el inventario de búfalos en el mundo, destacando su concentración en el continente asiático, pero también la rápida evolución que recientemente se experimenta en diferentes latitudes, destacando la dinámica en el continente americano. También se ha puesto en valor una amplia variedad de razas con vocación 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 diagnósticos reproductivos más finos radica una de las áreas de oportunidad más importantes en los búfalos, pues hasta ahora este tipo de manejo se ha tratado asemejar 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 se tienen que profundizar en el futuro.

En aspectos de salud animal, los búfalos también denotan peculiaridades que han resaltado la rusticidad de este tipo de ganado y la resistencia que han demostrado en cuanto a diferentes enfermedades, sin embargo, son susceptibles de adquirir algunas de ellas y, por ello, también 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, que permite alto contenido de sólidos totales y 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. Respecto 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, 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 tienen que adoptar 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, M.A., Álvarez, M.A.G., Mota-Rojas, D., 2019. Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. Rev. Soc. Rur. Prod. y Med. Amb. 38, 59-80.
- 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.

- 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 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 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, 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. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-9846-9>

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 and 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., Khaliq, 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>

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.

- 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.
- 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 la Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero, L.I., Napolitano, F., 2019. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. CAB Reviews. 14, 1-9. <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, 1704-1713. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001109>
- 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>
- 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., 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. Vitrification of buffalo oocytes and embryos. *Theriogenology*. 86, 214-220. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.034>
- Perera, B., 2011. Reproductive cycles of buffalo. *Anim. Reprod. Sci.* 124, 194-199. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.08.022>
- 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.

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., Gaulty, 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>

Saini, M., Selokar, N.L., Palta, P., Chauhan, M.S., Manik, R.S., Singla, S.K., 2018. An update: Reproductive handmade cloning of water buffalo (*Bubalus bubalis*). Anim. Reprod. Sci. 197, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.08.003>

- 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>
- Stevens, A., Shah, N.P., 2002. Textural and melting properties of Moz-zarella 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., 2007. 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>

El búfalo de agua productor de carne por el mundo: indicadores productivos y sanitarios

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 6

El búfalo de agua productor de carne por el mundo: indicadores productivos y sanitarios

Isabel Guerrero, Daniel Mota, Efrén Ramírez-Bribiesca, Patricia Mora, Rosy G. Cruz, Aldo Bertoni, Nancy José, Fabiola Torres, Ramiro Ramírez y Adolfo Álvarez

INTRODUCCIÓN

Los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) están catalogados dentro 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 la India (Naveena y Kiran 2014; Mota-Rojas et al., 2019; Guerrero et al., 2019), Europa, África y América. En lo que respecta al inventario de búfalo de agua en el mundo sobresale la India, con 105.1 millones de cabezas, que representan el 59% de la población mundial, seguida de Pakistán con aproximadamente 29 millones y China con 23.3 millones (Abdolghafoury, 2014).

La contribución del búfalo hacia la producción de carne se basa principalmente en su alta eficiencia en la conversión alimenticia (Bertoni et

al., 2019), ya que es reconocido 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 de utilizar ciertas pasturas lignificadas, la prolificidad y la longevidad han puesto 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).

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 incursionar 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., 2019; Guerrero et al., 2019; Mota-Rojas et al., 2019).

Por lo anterior, el búfalo destinado a la producción de carne muestra un potencial productivo 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), 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) .

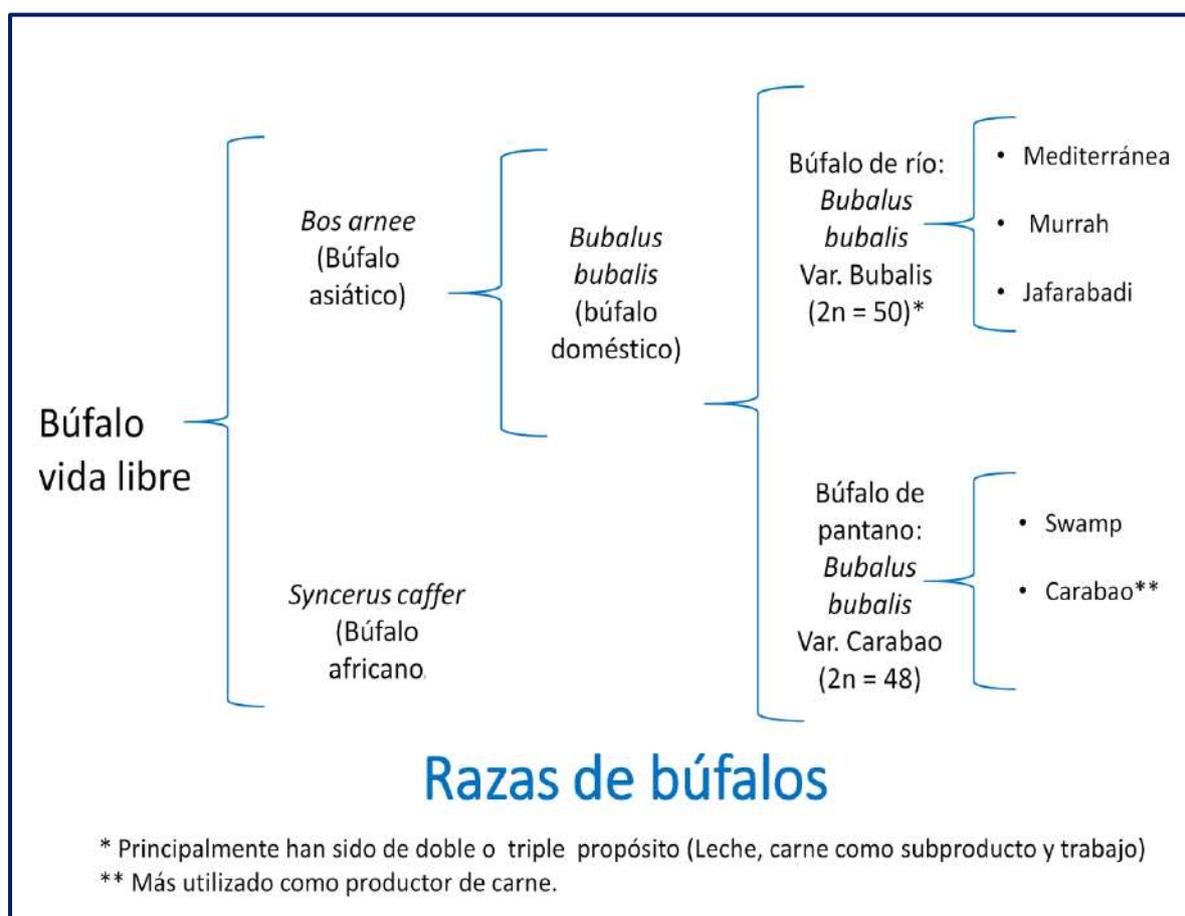
En la perspectiva de contar con un panorama amplio de los búfalos como productores de carne, el presente capítulo se planteó con el objetivo describir y discutir los hallazgos más recientes en el mundo sobre la producción de carne de búfalo de agua, las características de las razas empleadas, indicadores productivos y procesos de salud-enfermedad.

CARACTERIZACIÓN DE LAS RAZAS 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 ha 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 cárnica. 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 de 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 a las hembras a la engorda para su finalización y para canalizarlas al consumo.

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 canalizados a la engorda con base 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 el consumo (Naveena y Kiran, 2014).

En cuanto al búfalo de pantano, que es más utilizado para la producción de carne, se caracteriza fenotípicamente por el 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 alcanzan un peso de al menos 800 kg y las hembras de 650 kg (ANASB, 2019).



ASPECTOS ZOOTÉCNICOS Y DE PRODUCTIVIDAD EN BÚFALOS

La genética propia del búfalo de agua en función de la raza o sus cruas, así como las micro y macrocondicionales 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 y la evolución del animal y de este modo realizar ajustes de peso a diferentes edades. Asimismo, el peso al destete contribuye 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 que los bovinos cárnicos tradicionales, debido a que registran una mejor conversión alimenticia al ser alimentados con forrajes de baja calidad bromatológica (Naavena y Kiran, 2014).

Cuadro 1. Indicadores productivos generales de los búfalos de río

Peso de 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 de ciclo productivo: Puede alcanzar hasta los 18 años de edad
Peso de búfalos macho adultos varía entre 480 y 550 Kg
Peso de búfalos hembra adultos 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, investigaciones en India, evaluaron el peso al nacimiento y la ganancia diaria de búfalos Murrah, determinando que el peso promedio al nacer en hembras es de 32.83 ± 0.63 Kg y $37.06 \pm 0,73$ en 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 hembras y de 0.612 Kg para machos, que podría clasificarse como un promedio competitivo, en especial si se obtiene en sistemas tradicionales (Pramod et al., 2018).

a) Sistema de producción

En cuanto a las opciones de organizar un sistema de producción de carne, en Malasia se realizó un estudio para determinar la productividad del búfalo de pantano bajo distintos sistemas de producción.

En efecto, Nordin et al., (2004) asignaron a 90 búfalos bajo un sistema intensivo, semi-intensivo y un sistema de producción integrado, el cual contemplaba pastos nativos asociados con palma aceitera. 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 indicaron un menor desempeño en los búfalos alojados bajo el sistema intensivo (**Figura 3**); para las mediciones de peso al nacimiento, al destete y al año de edad; aunque el peso inicial fue similar en los tres sistemas, destacaron los animales bajo sistema semi-intensivo al momento del destete y, sobre todo, al primer año, muy cerca estuvieron los búfalos bajo sistema integrado y al final los intensivos, lo que muy

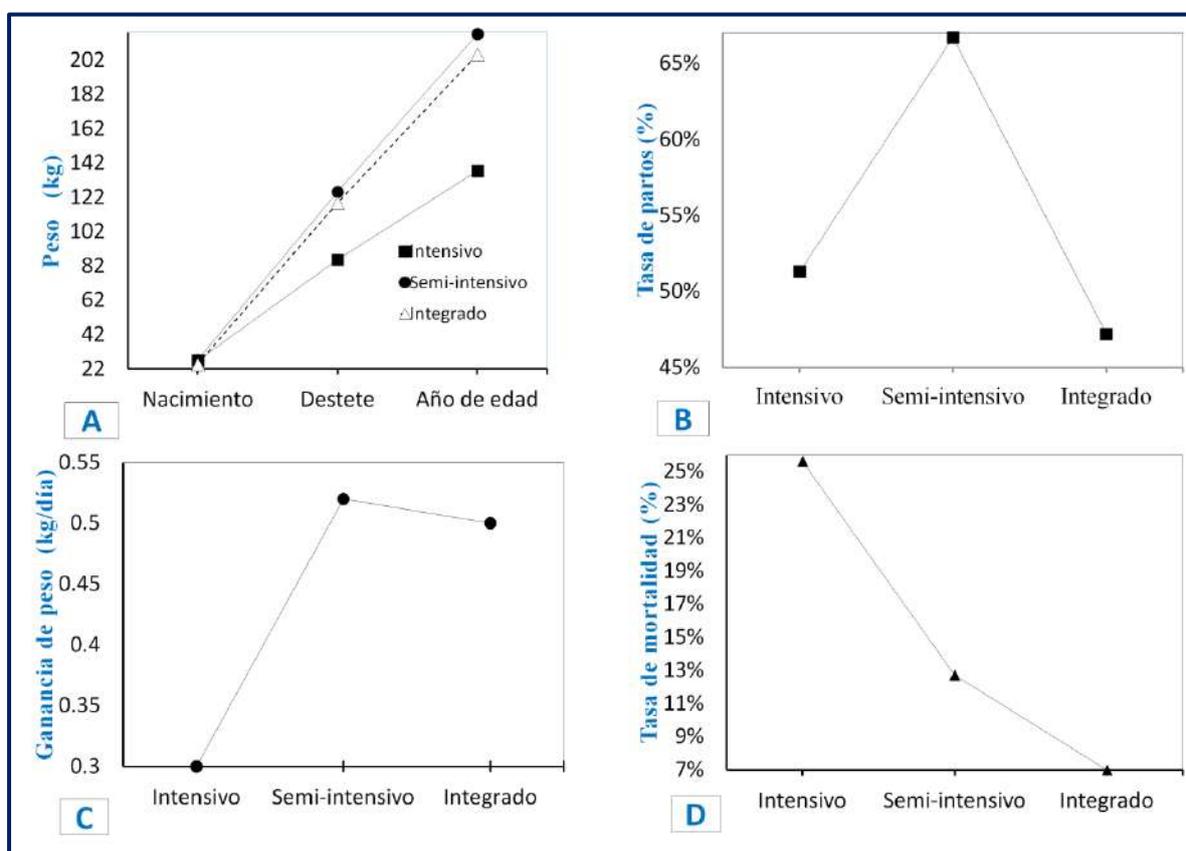
posiblemente se explica por la rusticidad del búfalo y su tendencia a desarrollarse en espacios abiertos (**Fig. 3a**). En la tasa de partos las diferencias también son marcadas, sobresaliendo de nueva cuenta los animales en sistemas semi-intensivos con alrededor de 70%, el intensivo cerca del 53% y el integrado se rezaga con valores de alrededor de 46%, con diferencias importantes respecto al primero (**Fig. 3b**).

En ganancia diaria de peso (**Fig. 3c**) de nueva cuenta sobresalieron los búfalos en sistema semi-intensivo, con poco más de 0.5 Kg/día, el integrado un poco menos y el intensivo se acercó a los 0.3 Kg/día. Finalmente, en tasa de mortalidad los búfalos que conformaron el sistema integrado fueron los más eficientes con 7%, seguido por el semi-intensivo con alrededor de 11% y, en el intensivo, se disparó hasta 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; tasa de partos con el 65%; 0.5 Kg de ganancia diaria de peso y sólo en mortalidad fue superado por el sistema integrado (**Figura 3**).

Otro elemento importante 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, forraje hasta concentrado con altos niveles 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 fueron ligeramente mayor cuando los animales fueron alimentados con tres cuartos de pellets + 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.

Figura 3. Productividad del búfalo de pantano bajo sistema intensivo, semi-intensivo e integrado. **A.** Muestra la distribución del peso al nacimiento, destete y al año de edad bajo 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 en tres sistemas de producción. Los búfalos del semi-intensivo mostraron una tasa de 66.7%, mientras que en el sistema intensivo mostraron un descenso de 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 en tres sistemas productivos. Del mismo modo los animales del sistema semi-intensivo mostraron una ganancia de peso de 0.52kg/día, de forma continua el sistema integrado registra 0.5 kg/día, mientras que en el sistema intensivo apenas alcanzaron 0.3kg/día. **D.** Expone 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 más bajo de los sistemas productivos. Gráficas propias elaboradas con información de Nordin et al. (2004).



De igual manera, las proporciones de músculo, hueso, grasa y tejido 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.

En este mismo sentido, Lambertz et al. (2014), evaluaron a 24 búfalos de pantano machos de la raza Swamp de 202 ± 10 Kg el efecto del sistema de alimentación, para lo cual utilizaron cuatro grupos: pastoreo en pasto Guinea (*Panicum máxima*); sobre pasto guinea más una leguminosa (*Stylosanthes guianensis*). Otros dos grupos fueron confinados en corrales con alimentación a base de pasto de Guinea recién cortado más concentrado al 1.5% y 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 para proporcionar las 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 1.5% y de 0.54 Kg/d para el grupo con 2.0%, 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 pasto guinea; y 0.354 Kg/d para pasto más leguminosa) ($p < 0.01$); 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 de

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 mayor 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 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 considerado diferentes parámetros productivos. En el caso de los búfalos brasileños se han considerado parámetros como 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 esta información se han elaborado curvas de crecimiento predictivas 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 información de 31.452 pesos al nacer y los pesos a los 120, 205, 365, 550 y 730 días de edad ($n = 5.178$), criados en pastoreo sin suplementación. 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 usan 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 encontró 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 es una herramienta que puede auxiliar en la predicción del comportamiento de los búfalos de carne con cierta precisión, especialmente las hiperbólicas.

EVALUACIÓN INDIRECTA DEL PESO VIVO

Un indicador importante es determinar el peso vivo de los animales; sin embargo, dada la dificultad para determinar este valor en los sistemas de producción pequeños y medianos y/o en zonas aisladas, en Pakistán, Tariq et al. (2013) desarrollaron 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

mostraron 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, concluyeron que se trata de 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	Es una característica primordial para determinar el crecimiento del animal. Se utiliza como base para la selección de animales Refleja el crecimiento de órganos, músculo y tejido adiposo.
Peso corporal + crecimiento óseo y longitud corporal	Desarrollo corporal de cada animal La altura a la cruz refleja el crecimiento en altura a través del crecimiento de los huesos
Perímetro torácico	Medida alternativa para estimar el peso corporal en animales.
Modelos no lineales, particularmente los modelos logístico y Gompertz	Curvas de crecimiento de los búfalos en general y especialmente para la raza Murrah
Perímetro torácico + edad + altura a la cruz	Se pueden utilizar para estimar el peso corporal del búfalo. Y tienen un modelo de curva sigmoidea
Alves y Franzolin (2015).	

Sin embargo, 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 realizaron 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, en comparación con 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, la profundidad corporal, ancho de las espinas vertebrales y longitud diagonal con el fin de determinar su relación con el peso vivo, la canal y sus componentes. Los resultados revelaron que la circunferencia del pecho mostró una estrecha relación con todos los rasgos de la canal excepto el peso óseo, además de ser un buen indicador de canal deshuesada y peso graso 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

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, también conocidos como búfalos Desi.

Este tipo de búfalos habían sido muy 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 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 los búfalos destinados al abasto. Dentro de sus hallazgos reportaron que la medición del área del ojo de chuleta 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 chuleta (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 incrementa la edad de los animales, siendo la menor en animales mayores a 4 años ($p < 0.05$).

Se presentó un aumento del grosor de la grasa a medida que avanza la edad hasta los 4 años, el mayor espesor de grasa se encontró en los machos de 2 a 4 años de edad ($P < 0.01$), siendo las hembras las que más grasa 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 a 4 años, cuando presentan las características óptimas en cuanto a peso vivo, rendimiento en

canal, rendimiento de despojos, grosor de la grasa, relación carne-hueso y área del ojo muscular.

Cuadro 3. Principales características de las razas de búfalo de río utilizadas para la producción secundaria de carne

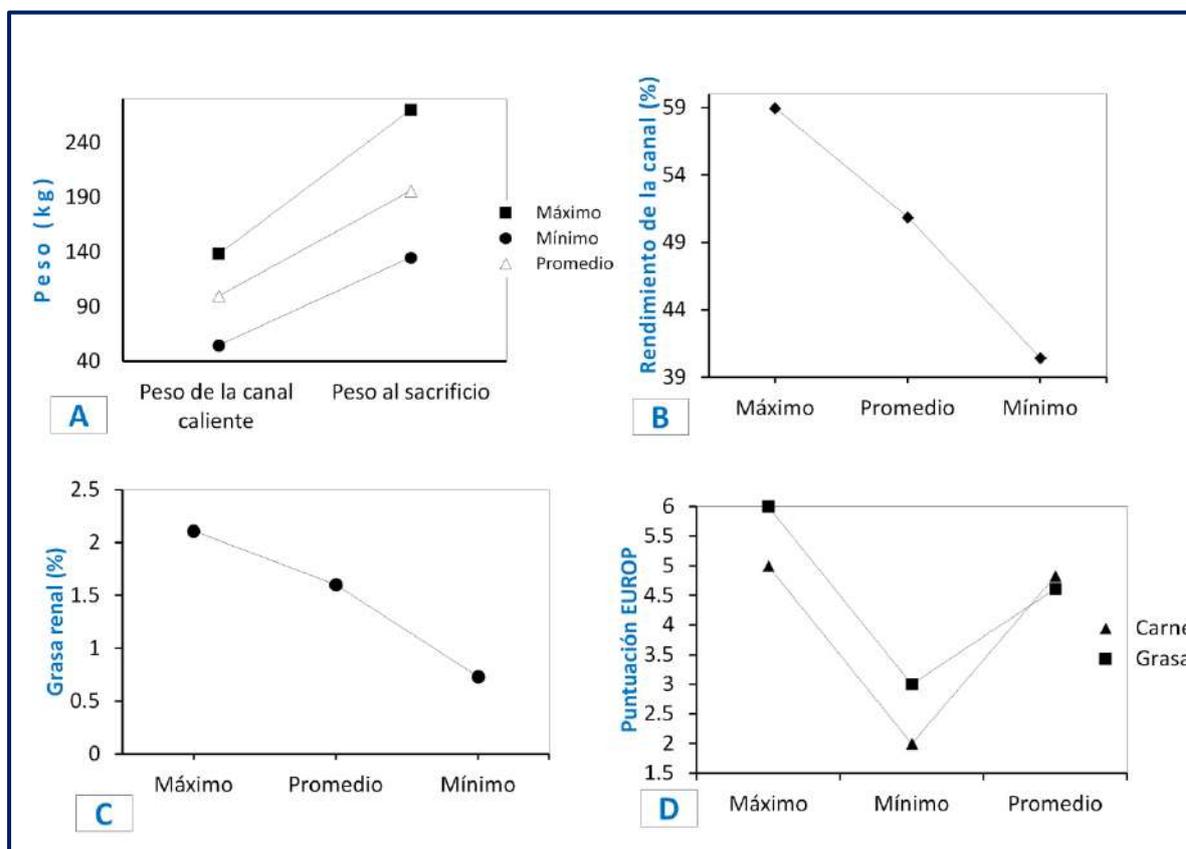
Indicadores /características productivas	Murrah	Jafabaradi	Mediterránea	Carabao	Bufalipso
Características corporales	Macizos, robustos, conformación profunda y ancha, extremidades cortas y huesos pesados	Esta raza es la de mayor tamaño	Animal compacto, musculoso y profundo, tiene buena conformación de grupa	Cuerpo corto y su vientre ancho, son de conformación compacta, maciza, con apreciables cortes	carniceros
Conformación carnica	Buena	Excelente	Buena	Excelente	
Ganancia diaria de peso promedio	Ganancia de peso promedio diaria es de 0.62 Kg.				
Características reproductivas de las hembras	Edad para la primera concepción entre 18 a 22 meses de vida.	Requiere mayor volumen de alimentos para obtener la energía necesaria y en restricciones alimentaria alarga el intervalo interparto y retarda su recuperación	Edad promedio al primer parto es de 40 meses,		Primer parto a los 37.69 ±1.69 meses de edad con 320-570 Kg. de peso vivo. Período interpartos de 415±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 a 1000 Kg., hasta 1500 Kg. Hembras: En promedio promedian 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 600-700 kg. Hembras 450 -500 kg.

Almaguer-Pérez, (2007).

Asimismo, con base 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 bajo las mismas condiciones de crianza. Se detectaron diferencias significativas en el consumo promedio de alimento (5.3, 5.6 y 6.3 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, al mostrar un desempeño intermedio entre los becerros mestizos y nativos y, por tanto, podrían ser una alternativa para competir frente a otras especies tradicionales para la engorda (Azary 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 haber una reducción promedio entre 50 y 90Kg (**Fig. 4a**), puede haber una variabilidad entre 59 y 39% de rendimiento de la canal (**Fig 4b**); cantidad de grasa en la zona renal puede ser de hasta el 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).

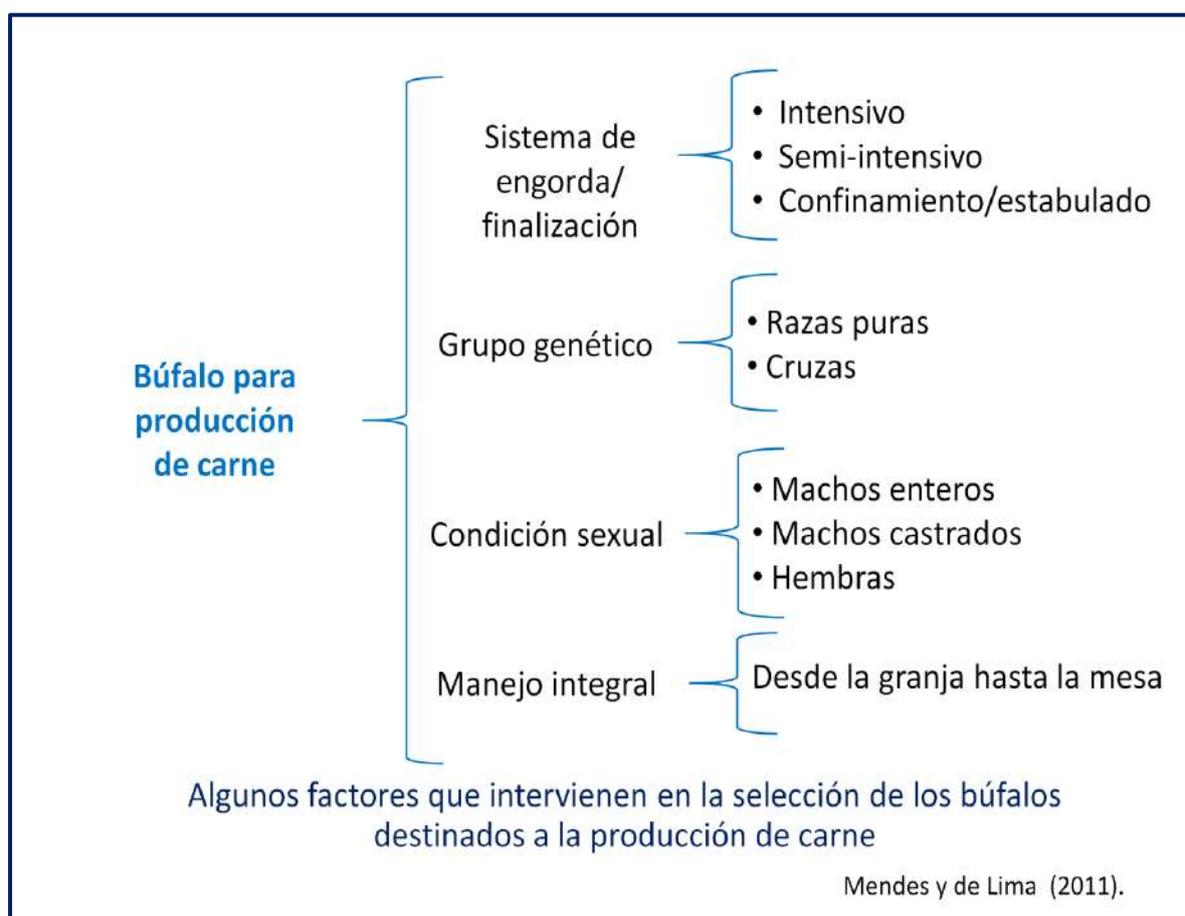
Figura 4. Datos al sacrificio de búfalos lactantes bajo sistema extensivo. A. Distribución de peso al sacrificio y a la canal. B. Rendimiento de la canal, C. Tasa de grasa renal. D. Puntuación EUROP para carne y grasa. Gráficas propias elaboradas con información de Holló et al. (2014).



A pesar de que los búfalos de agua, en general no son animales especializados en la producción de carne, 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, la cantidad de reemplazos es mayor que bovinos convencionales. Lo anterior se asocia con mayores beneficios económicos para las unidades productivas que implementan estrategias básicas de manejo en los sistemas productivos.

Finalmente, se debe considerar que son varios los factores que se deben 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 desarrollado estudios que aporten información pertinente para las diferentes razas y cruzas 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).

Enfermedades de origen bacteriano

En la intoxicación botulínica el agente involucrado es *Clostridium botulinum*. Es una bacteria que desencadena una intoxicación neuromuscular, 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, 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 o también denominada pasteurelisis, 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 pasteurelisis son África y Asia, además de que debido al curso agudo de la enfermedad y sus altas tasas de mortalidad representa un gran impacto económico en estas regiones del mundo (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 mencionado varias como la lengua azul (bluetongue), la diarrea viral bovina y fiebre catarral maligna de las cuales se han reportado pocos casos en búfalos, aunque la lengua azul se considera de importancia económica ya que algunas potencias mundiales como China restringen la importación de animales con anticuerpos elevados contra el virus (Lemcke, 2017).

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 encuentren (Deb et al., 2016; Lind et al., 2008).

Enfermedades parasitarias

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 realizados para 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 neuroparalítica por *Clostridium botulinum*; la susceptibilidad a la pasteurelosis; 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 en el campo de 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 y es necesario evaluar el rango del impacto para poder establecer programas de vacunación u otras medidas adecuadas de acuerdo a 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 ejemplares y mejorar 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 ello y presentan características de importancia en la salud humana y con posibilidades de elevar la rentabilidad económica, debido a su baja dependencia de insumos externos y una valorización virtuosa de los recursos forrajeros (Lemcke, 2017).

CONSIDERACIONES FINALES

Tomando en cuenta la expansión de la población humana en las últimas décadas, 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 atenuar el impacto ambiental se vuelven trascendentales. En esa línea, sobresale el búfalo, que han sido domesticado y cada vez más se adapta a procesos de producción sustentables y, por ello, figura como una alternativa excelente en diversas regiones del mundo para contrarrestar la creciente demanda de insumos para la producción animal. De igual forma, es importante destacar que en comparación con la carne de ganado tradicional, le aporte nutricional del búfalo es potencialmente elevado y el animal tiene la capacidad de soportar ambientes hostiles sin disminuir su producción. Todos estos factores brindan opciones a esta especie, que bajo un modelo tradicional puede coadyuvar al desarrollo de pequeños productores y de regiones marginadas en el mundo.

Figura 7. Peso al nacer y al destete. El peso al nacimiento y la edad al destete, así como características de la madre entre otros factores que se han analizado en este documento, juegan un papel trascendente en la producción de carne debido a que se verán reflejados en la ganancia de peso y en la calidad de la carne, así como el mejoramiento progresivo de los sistemas que se desplieguen en torno a esta especie.



Con respecto a la sensibilidad hacia enfermedades, se sabe que los búfalos son susceptibles a más o menos las mismas que el ganado vacuno tradicional, pero el rango de predisposición se reduce en el búfalo, excepto en ambientes inadecuados y con deficiencias nutricionales, como suele ocurrir en cualquier especie animal. Sin embargo, es un tema que requiere profundizarse en búfalos ampliamente para disponer de mayores evidencias sobre sus afectaciones reales y potenciales y, en su caso, sobre las medidas de prevención y atención que sean eficaces como oportunas.

REFERENCIAS

- Abdolghafour, B., Saghir, A., 2014. Buffalo: a potential animal for quality meat production-a review a, *Livestock Research International*. 2(2); 19-29
- 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.
- Almaguer-Pérez, Y., 2007. El búfalo, una opción de la ganadería. *REDVET Revista Electronica Veterinaria*, 8:1-23.
- Alves, T.C., Franzolin, R., 2015. Growth curve of buffalo grazing on a grass pasture. *Rev. Bras. de Zootec.* 44: 321-326.

- 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., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I., 2019. Similarities and differences between river buffaloes and cattle: health, physiological, behavioural and productivity aspects. *J Buffalo Sci.* 9:92-109
- 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.
- 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>
- 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. cuba. cienc. agríc.* 38: 377-379.
- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Cruz-Monterrosa, R., Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J., 2019. El búfalo de agua, versátil y rústico como productor de carne. *Agro Meat*. Buenos Aires, Argentina.; Febrero: 1-10.

- 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
- Khattak, A.H.K., ul Islam, M N., Khan, M.S., Iqbal, M., Shah, I.A., Ghani, S., ... & Ali, T., 2018. Comparative performance of Jersey sired calves from Achai dams and Azakheli buffalo calves fed with milk replacer. *Pak. J. Zool.*, 50(5).
- 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>
- Mendes, J.A., de Lima F.C., 2011. Evaluación de canales y calidad de la carne de búfalo. *Tecnol. en Marcha*, 24: 36-59.

- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero, L.I., Napolitano, F., 2019. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. *CAB Rev. (035)*; 14: 1-14.
doi: 10.1079/PAVSNNR201914035
- 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>
- 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.
- 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., 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 murrâh 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. [WWW Document]. *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>

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>

Los sistemas de producción de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 7

Los sistemas de producción de búfalos en el trópico húmedo de América Latina: Un acercamiento desde el enfoque agroecológico

Aldo Bertoni, Adolfo Álvarez, Armando Morales, Carlos Orozco y Daniel Mota

INTRODUCCIÓN

Existe amplio consenso en que las actividades antropogénicas se han basado en un excesivo consumo de recursos que han rebasado la capacidad de regeneración del planeta, especialmente a través de las actividades agrícolas y ganaderas, que destacan por su impacto en los recursos naturales y el medio ambiente. En definitiva, las actividades agropecuarias han evolucionado bajo un notable y progresivo proceso de intensificación que ha contribuido a la profunda crisis ecológica actual, por lo cual es urgente modificar los modelos productivos y, más ampliamente, los modelos alimentarios dominantes, a lo cual debe preceder un cambio 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 la agricultura y la alimentación que puede abordar múltiples

crisis en el sistema alimentario, contribuir a la Objetivos de Desarrollo Sostenible y permitir una transición más equitativa para todos. Desde una de sus primeras definiciones Altieri la conceptualizó 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 comprende 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 agropecuario y alimentario (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 para captar bajo un mismo lente las interacciones suelo, vegetación y animal, inmersos en su entorno físico-biótico y gestionados familiar y socialmente. 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 (Iglesias et al., 2019; Bertoni 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 esta 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 debe ser uno de los medulares (Acosta-Alba et al., 2012; Vilaboa-Arroniz, 2013).

El desarrollo ganadero que se ha experimentado en los trópicos de América Latina ha tenido a los vacunos como protagonistas y con base en ellos se ha modelado el sistema de doble propósito orientado a la obtención simultánea de carne y leche, pero que en su esencia responde a una dinámica más profunda que se detalla más adelante, fundada en 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 píe, animales de media engorda, finalizados e, incluso, animales de desecho (Cuevas-Reyes y Rosales-Nieto, 2018).

Esta complejidad del sistema se ha heredado en gran medida a los búfalos de agua, de reciente incorporación a los trópicos latinoamericanos, adoptando la flexibilidad del sistema y sus principios de funcionamiento, que toman fuerza gracias a la rusticidad y versatilidad de esta especie que, sobre todo en

las partes más húmedas, ha demostrado su eficiencia (Barboza, 2011; Carballoso et al., 2011; Bertoni et al., 2019; Mota-Rojas et al., 2019).

De hecho, las condiciones del trópico húmedo se distinguen por altas temperaturas y humedad ambiental, por algunos terrenos inundados y pantanosos así como por gramíneas de tipo C4 que aportan altos volúmenes de biomasa (Vilaboa-Arroniz, 2013). Bajo estas exigentes condiciones los sistemas doble propósito en búfalos 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 doble propósito como eje, en este documento se propone un análisis desde el enfoque agroecológico, para identificar y examinar aspectos y factores en los que se fundamenta la producción de leche y carne en las regiones tropicales húmedas de América Latina, considerando los retos de mejorar el nivel de vida de los productores, elevar la productividad, mejorar el bienestar animal, coadyuvar en la estabilidad de los ecosistemas y en el suministro de productos inocuos y de calidad que respondan a las necesidades de los consumidores.

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 han degradado paulatinamente los recursos (Boeraeve et al., 2020), en aras 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 conciben, en primer lugar, como un 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 las efectos de retroalimentación (crías, forrajes) que tienen un centro de decisiones (productor y su familia) que funge como regulador del sistema y de su nivel de eficiencia (Cuevas-Reyes and 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, Gases de Efecto Invernadero [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 (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 rápidos, 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 el 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 del planeta, como bien lo ha documentado el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático¹. En el trópico se observan procesos tan críticos como la deforestación y pérdida de

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

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

LA REGIÓN TROPICAL: UN ESPACIO PRIVILEGIADO PARA EL DESARROLLO DE LOS BÚFALOS

Las regiones tropicales, por lo menos en América Latina, se han colonizado en las últimas décadas y, por ello, se ha visualizado como fuentes de riqueza natural y económica, teniendo a la ganadería como una de sus principales actividades productivas. Sin embargo, este proceso se ha topado con obstáculos mayores, que surgen de la dificultad de comprender las características y procesos de estos ecosistemas, que han llevado a múltiples intentos de transferir modelos tecnológicos de las zonas templadas, generalmente sin alcanzar los resultados perseguidos (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 sustituido en muchos casos por zonas de pastoreo, aunque existen otras actividades relevantes como incendios, agricultura y minería, entre otras que han abonado en el mismo sentido. Para que los búfalos puedan aprovechar y, a la vez, beneficiar a los ecosistemas tropicales es primordial conocer sus características principales, que sin duda brindan potencialidades más que destacadas, sin embargo, posee ciertas desventajas: entre las cuales está la disponibilidad estacional y baja calidad nutricional de forrajes durante parte del año, como en las épocas de sequías y ciclones (*nortes*) en México (Quero et al., 2018).

Aspectos físico-bióticos

Las regiones tropicales se sitúan entre los trópicos de cáncer y capricornio y poseen características distintivas en 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 están al nivel del mar y se elevan hasta áreas 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 más lluviosas; la humedad relativa varía 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 distinguen 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 parte 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 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 exuberante material vegetal muerto, que sirve para enriquecerlos 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 son difíciles de mantener en el tiempo, cuando se rompen los ciclos con 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, como se ha demostrado en distintos países como Argentina, Costa Rica y Colombia (Patiño et al., 2016).

Gracias a las características anteriores, la vegetación natural en los trópicos es de tipo selvático, con vegetación alta perennifolia en el trópico húmedo y baja y caducifolia en la parte más seca (Connor et al., 2013). En las zonas planas y de lomeríos existe 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, 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 gran 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 (Patiño et al., 2016).

El potencial forrajero del trópico

La variedad de especies forrajeras en los trópicos ha sido amplia y cada vez más diversa, dada la generación de nuevas variedades, tanto nacionales como importadas, que han elevado considerablemente su potencial productivo. En efecto, de la predominancia de pastos nativos e inducidos de origen africano, que persisten a la fecha en áreas importantes, se han incorporado nuevas especies como las de los géneros de las *Brachiarias* y los *Pennisetum*, que están propiciando productividades ganaderas que se han duplicado y triplicado 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 fuerte 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. humidicola*) 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 las 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 incorporación de tecnología y 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 los productores deben establecer estrategias para gestionar estos recursos de diferente manera, con esquemas de conservación (ensilaje o henificado), de suplementación alimenticia, de sistemas de pastoreo rotacional y de sistemas agrosilvopastoriles (González et al., 2018) para responder estratégicamente a la estacionalidad de la oferta forrajera, tanto en cantidad como en calidad.

Recurrir a los árboles forrajeros, aprovechando los nativos o estableciéndolos requiere de planeación 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 and Haeeb, 2010). La planeación de establecer los árboles es creciente en sistemas de pastoreo rotacional y debe considerar especies que se adapten al clima tropical. 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 necesarias 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; Caraballosa et al., 2011) que invitan a explorar con más énfasis estas vías, considerando que tienen amplias 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).

EL SISTEMA DE DOBLE PROPÓSITO EN BÚFALOS

Bajo estas biocondicionantes de oferta forrajera considerable, aunque de baja y mediana calidad se han conformado en una larga 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 (Bertoni et al., 2019).

De manera general, el término de sistemas de producción de doble propósito alude a un conjunto de elementos interdependientes que se organizan para obtener dos productos principales: leche y carne. En estos sistemas se privilegia la sustentabilidad económica y ambiental, antes que la ganancia máxima (Cuevas-Reyes y Rosales-Nieto, 2018). 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, entendiendo esta última como animales finalizados, pero también crías, animales a media engorda y de desecho (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. Cuando, al contrario, escasean de manera permanente o estacional los forrajes se puede contraer tanto la ordeña como el proceso de engorda para vender crías al destete o animales de media engorda, 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).

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 estos 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., 2019).

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 atentan contra la sostenibilidad del sistema (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).

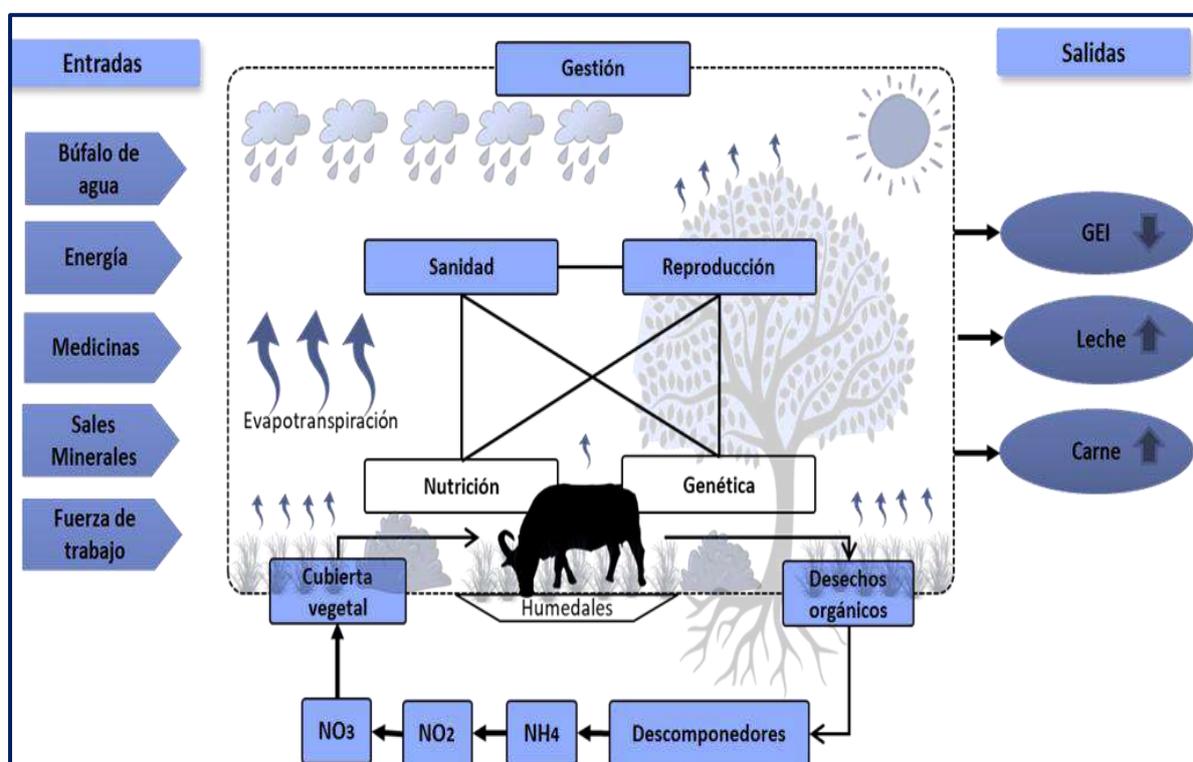
Una imagen de la compleja configuración del sistema de doble propósito de búfalos se aprecia en la **Figura 2**, en la cual se identifican los insumos en el extremo izquierdo, los procesos en medio, muy vinculados al suelo y a la vegetación y en el extremo derecho los productos, así como los efectos de retroalimentación que dan continuidad y sostenibilidad al sistema.

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 del trópico húmedo, gracias a su adaptación y sinergismo con los recursos disponibles.

Figura 2. Concepción agroecológica de los sistemas de producción de búfalos de agua de doble propósito en condiciones del trópico húmedo.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.



EL FACTOR ANIMAL Y SU RELACIÓN CON EL ENTORNO

Como se describió previamente, la forma más común de alimentar el ganado en las zonas tropicales es 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 excremento) que son reutilizados por el ecosistema (Acosta-Alba et al., 2012). En tales sistemas, 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 en 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

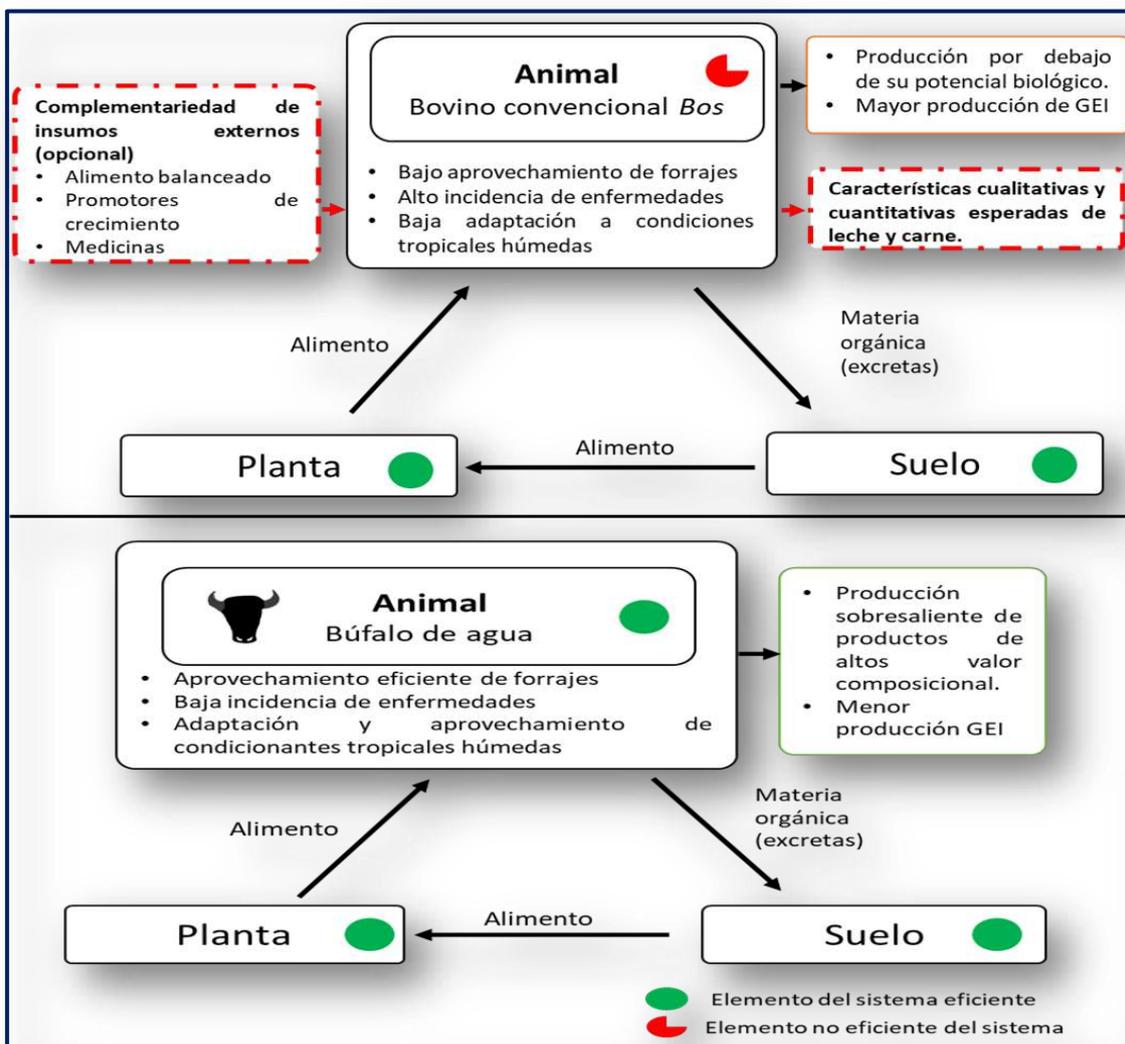
acumulación de heces en ciertas áreas de las zonas de pastoreo que pueden resultar contaminantes para el suelo y el ambiente, reduciendo los rendimientos forrajeros (Bonaudo et al., 2014; Brewer y Gaudin, 2020).

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 aspectos (**Figura 3**).

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 3**).

En contraste con lo observado en los sistemas vacunos, 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 alguna suplementación alimenticia para lograr los niveles de producción de carne y leche con alto valor composicional (Bertoni et al., 2019)

Figura 3. Eficiencia de la interacción suelo-animal-planta de los sistemas de producción tropical basados en pastoreo comparando a bovinos convencionales del género *Bos* y búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) en el elemento animal.



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 3**).

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 ubica 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 (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., 2019), lo cual propicia que especies vegetales invasoras proliferen, saturen el paisaje y restrinjan funciones básicas de los ecosistemas (Barboza, 2011). En estas zonas anegadas y con exceso de humedad, las características anatómicas y fisiológicas de los búfalos de agua les permiten tener acceso a ellas y aprovechar la vegetación de los humedales, incidiendo en el control del crecimiento excesivo de la vegetación para recuperar los espejos de agua que son necesarios para especies silvestres de flora y fauna (Barboza, 2011); además, por esta vía se aprovechan áreas que de otra forma estarían prácticamente inutilizadas (Carballoso et al., 2011). De ello deriva que el búfalo de agua cada vez más

se perfila como un mecanismo de control biológico de la vegetación en humedales, promoviendo las condiciones para conservar a la diversidad biológica y llevar a cabo procesos ecológicos (Barboza, 2011)(Figura 4). Además, los humedales, charcas, represas y lodo son necesarios para el búfalo de agua, en especial en condiciones de altas temperatura, 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 Haeeb, 2010).

Figura 4. 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 ectoparasitarias provocadas por el exceso de humedad y las altas temperaturas (Bertoni et al., 2019; Mota-Rojas et al., 2019). Expresado lo anterior, el búfalo agua, debido a que se desempeña en un buen estado de

salud, no interrumpe o coarta su ciclo productivo por algún tipo de enfermedades comunes en ganado convencional (Benitez et al., 2012), además de presentar tasas de mortalidad bajas, fertilidad, precocidad y longevidad alta, lo cual, se resume en un bajo número de animales de descarte o desecho, comienzo de la vida productiva a edades tempranas, reducción de intervalos generacionales y al mismo tiempo, la capacidad de generar gran número de reemplazos (Bertoni et al., 2019)

De hecho, los animales eficientes y sanos expulsan menos gases de efecto invernadero por unidad de producto y por consiguiente se obtienen mayores beneficios económicos (González et al., 2018).

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 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, 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 excesivos 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). 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 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 tiene acceso a alimento de alta calidad nutricional y se induce la conformación de microclimas que le proporcionan mayor confort que en sistemas sin especies arbóreas (Pezzopane et al., 2019). De esta forma el búfalo de agua podría reportar rendimientos y un nivel de bienestar adecuados (Marai y Haeeb, 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, la base de la mayoría de los sistemas actuales de pastoreo (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 guarda 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 (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, se consignó que los primeros mostraron mejores resultados, 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 más eficiente procesamiento de los alimentos. 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 Haeeb, 2010). 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 recursos forrajeros en mejor condición (Caraballosa 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 considerarse cierta separación de grupos por edad o peso 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).

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 agotamiento ni contaminadas, fomentar la existencia 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 que aseguren los tiempos de ocupación y de descanso que favorezcan tanto la condición de los agostaderos como la alimentación equilibrada de los búfalos (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 el 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 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 (Bertoni et al., 2019).

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, pariciones, periodos de engorda, lactancias 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 restauración 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.

CONSIDERACIONES FINALES

La agroecología muestra avances notables en los últimos años, aunque se han enfocada a la agricultura, a tal grado que aparece como elemento central de políticas públicas dirigidas al sector primario y a los recursos naturales. 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 el 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, en especial, 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 pueden 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 las familias ganaderas.

Los búfalos representar una opción que puede superar en varios aspectos a las especies convencionales, especialmente bajo el modelo de doble propósito, en la medida que puede adaptarse a una racionalidad familiar, con bajo nivel de riesgos y, en cambio, brindar seguridad como fuente de alimentos e ingresos. Para ello, resulta imprescindible un conocimiento más acabado de su fisiología, etología y niveles de productividad para que través de sistemas de pastoreo adaptados al trópico húmedo apunten a remodelar sistemas más eficientes y sustentables.

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.

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>
- 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.
- 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.

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*). *J. Buffalo Sci.* 1, 193-197. <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2012.01.02.11>

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.

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. 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>

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. *Rev. Geophysics*. 54, 523-610. <https://doi.org/10.1002/2015RG000510>

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.

González, R.I.C., Palma, G.J.M., Zyanya, S.C.N.N., Gómez, F.G.T., Galindo, M.F.A., 2018. Recursos naturales y ganadería en el trópico, in: González, P.E., Dávalos, F.J.L. (Eds.), Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería bovina tropical. REDGATRO, Ciudad de México, pp. 44-58.

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>

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>
- 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.
- Koppelmäki, K., Parviainen, T., Virkkunen, E., Winqvist, 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., Haeeb, 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>

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., Rosa, G. De, Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., 2019. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. *CAB. Rev.* 14(035), 1–9.
<https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>

Muñoz, J.C., Huerta, M., Bueno, A.L., Rangel, R., 2016. Production and nutritional quality of forages in conditions Humid Tropics of Mexico Resumen Introducción 3315–3327.

Pachauri R.K., Meyer, L.A., 2015. Cambio climático 2014: Informe de síntesis, first ed. IPCC. Ginebra.

Paul, S. S., Lal, D. 2010. Nutrient Requirements of Buffaloes. Azadpur, Delhi, India: Satish Serial Publishing House. 138 pp.

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.

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>

Quero, C.A.R., Enríquez, Q.J.F., Bolaños, A.E.D., Villanueva A.J.F., 2018. Forrajes y pastoreo en México tropical, in: González, P.E., Dávalos, F.J.L. (Eds.), *Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería bovina tropical*. REDGATRO, Ciudad de México, pp. 66-85.

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>

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. *Agricultural. Syst.* 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>

La importancia de los animales en labores rurales: tracción, transporte y carga

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 8

La importancia de los animales en labores rurales: tracción, transporte y carga

Daniel Mota, Adolfo Álvarez, Aldo Bertoni, Sucel Medina, Efrén Ramírez Bribiesca, Nancy José, Gisela López, Patricia Mora, Isabel Guerrero y Fabio Napolitano

INTRODUCCIÓN

Los animales han formado parte de la evolución sociocultural y económica de las sociedades, en particular en la confección de los modelos productivos agropecuarios, cuya principal característica ha sido el constante perfeccionamiento y aprovechamiento de los recursos, en aras de asegurar su alimentación y, más ampliamente, la generación de riqueza. En ese marco, los animales de trabajo se mantienen como una de las principales fuentes de sustento de miles de familias en los países en vías de desarrollo. 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 debiese proteger la calidad de vida de los animales, no solo por el valor que éstos generan como herramienta de trabajo, alimento y medio para generar ingresos, sino porque valorar el bienestar animal es importante 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 de gran escala; sin embargo, en la actualidad todavía es utilizada por 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 y búfalos de agua (Hu et al., 2020; Mingala et al., 2017).

El recurso a los animales de trabajo se concentra en 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 a burros, caballos y camellos, mientras que en partes montañosas y en suelos arcillosos e inundados se incorporan principalmente bueyes y búfalos (Arriaga-Jordán et al., 2005; Mingala et al., 2017).

Por otro lado, en la capacidad de los humanos para percibir 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 motivar el cambio de actitudes para brindarles protección y bienestar acorde a los preceptos del desarrollo sustentable (Myers et al., 2003; Tadich et al., 2016).

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, especies como el búfalo han sido pilares en las actividades agrícolas (Mingala et al., 2017), gracias a su eficiencia, la cual ha sido descrita en ciertas circunstancias como superior a la del tractor, con tan solo un par de búfalos, generando beneficios adicionales para el productor al eliminar o reducir costos de combustible y mantenimiento de maquinaria (Nanda y Nakao, 2003).

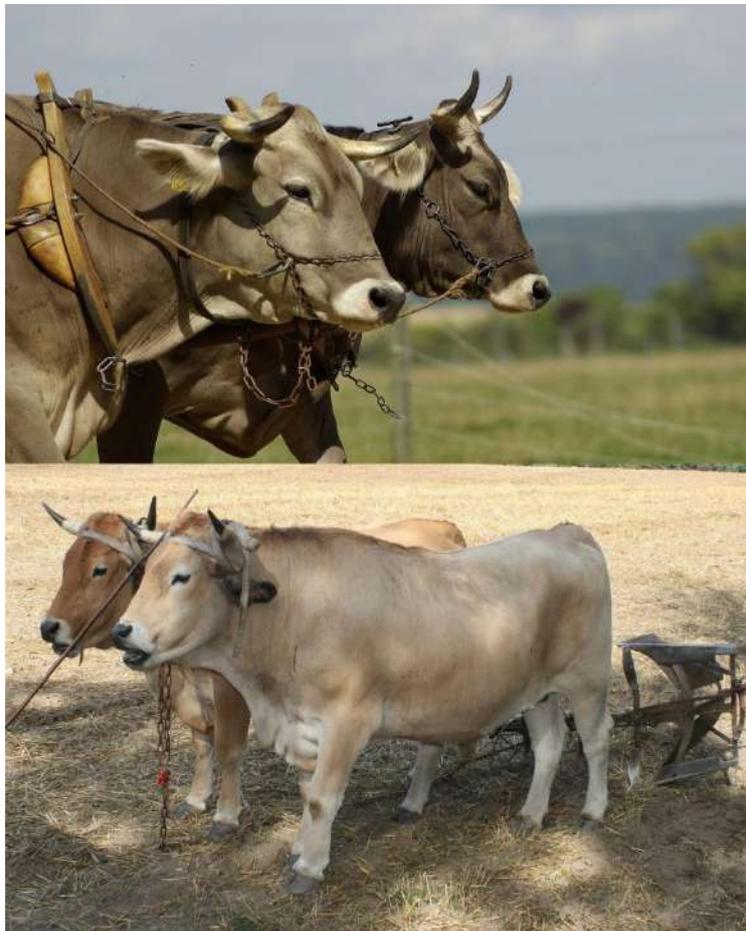
Sin embargo, es importante que el agricultor considere las características y necesidades de sus animales y no incurra en su inadecuado manejo como las jornadas de trabajo excesivas y la ausencia de asistencia técnica y médica preventivas que pueda mermar su calidad de vida así como su rendimiento en labores agrícolas y familiares (Makki y Musa, 2011).

Con base en lo antes expuesto, en el presente capítulo se discuten los hallazgos vinculados con la trascendencia de los animales en las labores rurales, como las agrícolas desde la antigüedad (equinos, bueyes y búfalos de agua), la relación entre este tipo de animal y el granjero y las familias rurales, la calidad de vida del animal de carga o tracción, 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 escasos, 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.

ELEMENTOS HISTÓRICOS DE LOS ANIMALES EN LAS LABORES AGRÍCOLAS

A lo largo de la historia de la humanidad, se han adoptado diferentes cambios en la producción agrícola y pecuaria con la finalidad de responder a las demandas crecientes de alimentación además de la adaptación que el medio sociocultural y económico impone. En este proceso, el uso de especies domesticas con gran capacidad para realizar labores agrícolas ha integrado parte de modelos productivos en constante evolución (Chastain y Vellios, 2018). Una de las primeras especies en domesticar 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 principalmente en los primeros agricultores para el arado de la tierra (Callene, 2015). (**Figura 1**).

Figura 1. Bovinos del género *Bos* en apoyo a labores agrícolas.



Las estrategias implementadas para la domesticación del ganado bovino y caballos, fueron el uso de cuerdas y nudos simples, los cuales datan aproximadamente hace 6,000 años en el caso de los egipcios (Chastain y Vellios, 2018). Del mismo modo, en Estados Unidos, en 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 desea girar (Chastain y Vellios, 2018).

Por su parte, el uso del yugo también ha jugado un papel muy importante, el cual consiste en un poste redondo colocado a través del cuello del animal utilizado principalmente por los europeos y en Nueva Inglaterra, la cual se apoya contra la jiba para facilitar el 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 fue considerado para ceremonias egipcias, donde se registró el entierro de diez burros en la morgue real, probablemente durante el reinado de Horus-Aha, para asegurar su presencia 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 estuvo a cargo de griegos y romanos por Europa y Asia occidental (Hanot et al., 2017; Hu et al., 2020) (**Figura 2**).

Mientras 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, cuyas características fueron tomadas en cuenta para en la logística militar.

Cabe destacar en ciertas circunstancias la preferencia por las mulas como animal de carga, en comparación al caballo, debido 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 una menor susceptibilidad a presentar llagas a causa de la silla o equipos de monta que les incorporan (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 considerado que el origen de la domesticación data del año 2000 aC en Mesopotamia y el valle indio (Mingala et al., 2017). Dentro de las características que sobresalen en el búfalo son sus pezuñas fuertes, ya que muestra un mejor desempeño y es más eficiente 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 de una a dos décadas (Chantalakhana y Bunyavejchewin, 1994; Mingala et al., 2017).

En esta participación de los animales de trabajo en las actividades agrícolas, vale la pena valorar 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% 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 fue relevante. Aunque este estudio no es del todo reciente, consigna una contribución de los animales de trabajo que suele ser subestimada.

Cuadro 1. Valor agregado generado por los animales en sistemas agropecuarios de África (Porcentaje) (Ogle, 1996, tomado de Liniger et al., 2011)

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

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. Países como Cuba y algunos países de al 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. Evidencia disponible muestra 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 a lo largo de 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 maquinas agrícolas que gradualmente han reemplazado a la energía animal (Diaz y Winter, 2021).

En un estudio realizado por García et al. (2014) se midió 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 muestran 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 y 2.57 t/ha), energía mecanizada y 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 resulta más factible considerar inversiones mucho menores, por lo cual acoplan energía animal que puede alimentarse incluso con residuos de la cosecha y las inversiones a considerar básicamente se limitan a la adquisición de los aperos o arneses (García et al., 2014).

Es cierto que eficiencia económica y productiva es mayor utilizando procesos mecanizados en comparación 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 aspectos enfocados a producciones sustentables (Rahman et al., 2011). La fuerza animal aporta elementos nutritivos al suelo en forma de excretas líquidas y sólidas, por lo cual, cuando se adopta la fuerza mecánica se debe de considerar 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 se puede obtener a partir de lineamientos agroecológicos en función de una correcta gestión de las interacciones biológicas y la segunda, se alimenta principalmente de combustible fósil además de tener mayor impacto en la 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 correctas interacciones del humano con el animal y los procesos biológicos implicados en la relación suelo-animal-planta.

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 tanto de los hombres como de los animales (Luna y Tadich, 2019) y es considerado un factor importante en especies de trabajo, ya que la interacción entre ellos previene que los

animales sientan temor, ya que con frecuencia son manipulados por distintas personas, lo cual genera respuestas negativas del animal. Además, este vínculo favorece que los animales al crecer en un entorno con mucho ruido y movilidad sean más sociables, con menor estrés y, por ende, mejore su bienestar y con ello la prevención de 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 de ayudar a quienes apoyan en el trabajo rutinario. No se trata sólo de mantenerlos sanos y bien alimentados, sino tomar conciencia que sienten y experimentan emociones, lo que debería ser un incentivo para mejorar el trato hacia ellos.



Prueba de ello, se demostró en la investigación realizada por Kling-Eveillard et al. (2020), quienes evaluaron la interacción humano-animal entre ganaderos y bovinos, a través de una encuesta basada en preguntas a los ganaderos sobre su relación con los animales, analizando los resultados por temas. Entre los resultados obtenidos destacó que la mayoría de los

ganaderos no lograban una definición correcta sobre el término y lo asociaban 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, tuvieran la confianza con ellos y eso lo relacionaban a alcanzar adecuados parámetros productivos, al igual que 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), “Organización Broke”, donde utilizó un protocolo de evaluación de comportamiento y aspectos físicos en animales de países en desarrollo. Encontraron que debido a un bajo nivel de confort los animales no interactúan con los humanos y tampoco muestran interés en su entorno, lo que puede atribuirse a que los animales suelen presentar lesiones que les genera un dolor crónico. El estrés por calor y la fatiga crónica pueden ser otros de los 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 para la evaluación de bienestar, por lo cual, la relación humano-animal comúnmente repercute en el desempeño del animal usado en las labores agrícolas (Luna y Tadich, 2019).

CALIDAD DE VIDA DEL ANIMAL DE TRANSPORTE Y CARGA

Es frecuente que los agricultores o los manejadores 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 repercute en un manejo inadecuado y, por ende, que los animales presenten fatiga, desnutrición, enfermedades y, en última instancia, que no puedan optimizar su desempeño. Ante ello, los agricultores no siempre reaccionan adecuadamente y, por ello, recurren a golpes, torsión de cola o pinchazos y, como consecuencia, los animales muestran lesiones con escoriaciones, llagas, hematomas y cicatrices, entre otros daños (Ramaswamy, 1998).

En ese sentido, la evaluación de bienestar animal en equinos de trabajo se ha basado en parámetros de salud y comportamiento de los animales, entre ellos la presencia de cojeras, heridas y la 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 sufren otros problemas como desnutrición, deshidratación u otro malestar y suelen recorrer caminos duros y/o secos. Esto se asocia a la falta de cuidados de patas, escasez de herraje y, en general, a la carencia 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 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, esto con base a lo identificado por Attia et al. (2018), al examinar a 120 burros en Egipto. Se determinó 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%. En atención a esto, resulta fundamental la implementación de un programa de desparasitación de este tipo de animales a fin de beneficiar esta parte de su salud.

En cuanto a los bovinos como animal de trabajo, un 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 al veterinario; 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 al aire libre. Sin embargo, el factor más crítico fue el uso del yugo (arnés), que fácilmente provoca llagas y heridas a causa del mal mantenimiento de esta herramienta, dado que el 99% de los agricultores no lo limpia y en su mayoría no disponen de cojines que eviten el roce del yugo 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 este tipo de lesiones e, incluso, en algunas infecciones que presentan estos animales (Makki, 2014).

Otra de las grandes 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 algunos lapsos con alta demanda de trabajo agrícola (siembra y cosecha, en especial), los agricultores suelen asignar jornadas más amplias a los animales, menoscabando su 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 métodos de sujeción adecuados sobre el animal. En el caso de animales de tiro es fundamental prestar especial 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. Colocación de alfombras de algodón. B. Lomillos. C. Arnés collar 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 de manera correcta y que evite algún tipo de lesión o incomodidad que afecte el nivel de confort del búfalo.

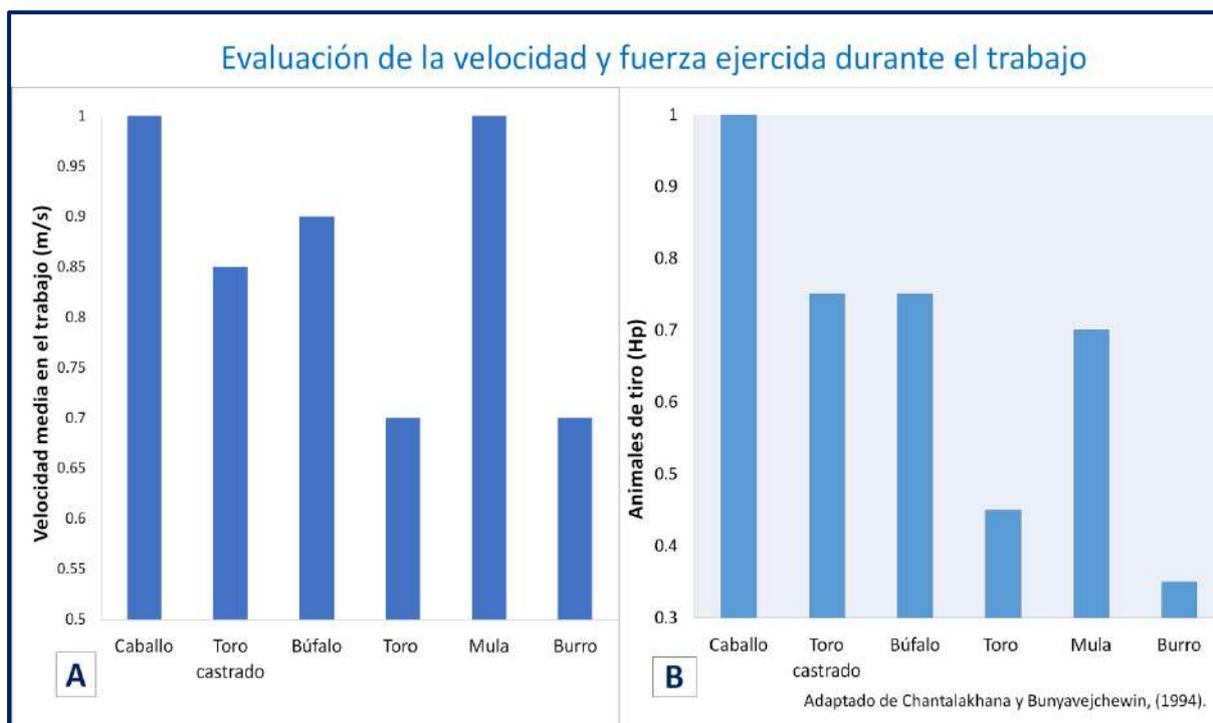


Tras disminuir su eficiencia como animal de trabajo, la gran mayoría son destinados a rastro, previo a ello, regularmente sufren caídas, golpes y resbalones durante su transporte, haciéndolos pasar por rampas y puertas por los cuales serán cargados y descargados de los vehículos. Esto ocasiona que los animales se lesionen y exhiban ulceraciones, laceraciones, sangrados, dislocaciones, fracturas, hematomas musculares, así como colas, cuernos y narices rotas, daños asociados al exceso 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 los animales 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 el hombre. Especialmente en Asia y en algunos países de Latinoamérica, el búfalo de agua ha mostrado ser una excelente opción como 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 muestra mayor docilidad, permitiéndole 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), esto quizá 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 alimento (Escarcha et al., 2018).

En Vietnam los principales cultivos son arroz, caña de azúcar, maíz, cacahuate y soya, es por ello que el búfalo de agua tiene un papel central en la agricultura, 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 solo 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.

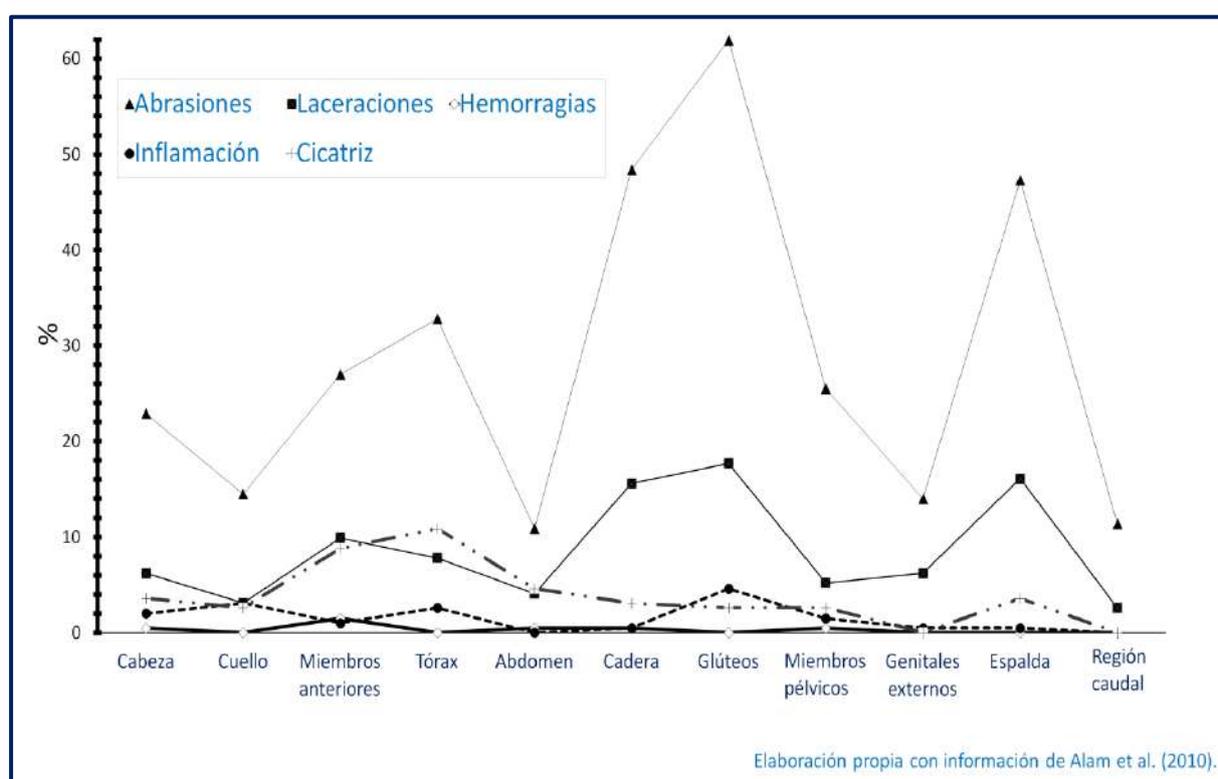


ESTADO DE SALUD DEL BÚFALO DE AGUA EN MERCADOS GANADEROS

Al concluir su ciclo como animal de trabajo, estos 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), 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 son amarrados 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, 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 generar 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 consideran importantes por su función económica, aunque su intervención es estratégica y, por ello, se esperaría que se les brinde más atención investigativa y operativa para mejorar las condiciones de manejo y 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, pero se ha identificado que durante el transporte exhibe lesiones visibles por lo cual también sería preciso instrumentar medidas óptimas para su transporte, así como para proceder al acondicionamiento de vehículos para ello.

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 fertiliza los suelos. Por tanto, existen las bases para fortalecer la sinergia del hombre-animal, pero también la relación suelo-animal-planta. 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 expresan 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 seguir siendo estudiado, 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 los beneficie mutuamente.

REFERENCIAS

- Acosta-Alba, I., Lopéz-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>

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>

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>

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 Tulumán, 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



ASPECTOS REPRODUCTIVOS

Parto, destete y ordeño

La búfala de agua durante el parto y ordeño: respuestas fisiológicas y conductuales

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 9

La búfala de agua durante el parto y ordeño: respuestas fisiológicas y conductuales

Daniel Mota, Agustín Orihuela, Fabio Napolitano, Francesco Serrapica, Adriana Olmos, Julio Martínez-Burnes, Patricia Mora y Giuseppe De Rosa

INTRODUCCIÓN

Un éxito en la eficiencia reproductiva y por consiguiente en la producción lechera es el nacimiento de las crías. Generalmente las búfalas de agua (*Bubalus bubalis*) paren un único ternero, y excepcionalmente nacen gemelos (De Rosa et al., 2009a). Cabe resaltar que, durante el periodo de gestación se favorece la adaptación gradual a los cambios que sufren las hembras; ya que los fetos de las búfalas crecen por un periodo de 300 a 310 días aproximadamente; en los cuales, sus cuidados y alimentación corresponde exclusivamente a la madre (Punia y Singh, 2001). Sin embargo, al llegar el momento del parto, los cambios que se producen son bruscos, severos y relativamente rápidos, con la presencia de un cierto grado de dolor provocado por los cambios fisiológicos y morfológicos, dando origen a estrés y ansiedad (Pereira et al., 2011; Mota-Rojas et al., 2019).

El parto eutócico (normal) es un proceso fisiológico complejo en el que se desencadena una cascada de respuestas fisiológicas y hormonales, con

cambios morfológicos y conductuales (Titler et al., 2015); por tal motivo se considera un evento normalmente estresante. Sin embargo, 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 bovino del género *Bos*. Sin embargo, 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 et al., 2019) 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 técnica de ordeño, en la cual se observa un incremento en el uso mecánico *versus* manual a causa de la intensificación de la crianza; experiencias negativas previas de manejo; presencia de lesiones; así como la rutina diaria, donde es fundamental que la interacción humano-búfala sea positiva (Polikarpus et al., 2014).

Debido a la intensificación de la producción de leche de búfala, el ordeño automático es ahora parte de la rutina e implica varios factores físicos y

psicológicos que pueden provocar dificultades en la bajada de la leche, por ejemplo, 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 de estrés que las vacas lecheras (Thomas et al., 2005); por ejemplo, el ruido de las máquinas de ordeño puede ocasionar estrés en los animales (Polikarpus et al., 2014), 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 abordamos aspectos básicos del comportamiento de la búfala durante el parto y ordeño, además, mencionamos el mecanismo neurofisiológico de dolor normal que acompaña el parto, y describimos 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.

1. 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 en vacas lecheras y cárnicas (*Bos taurus* y *B. indicus*) criados 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 al facilitar el reconocimiento mutuo 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 paren de pie (Von Keyserlingk y Weary, 2007).

La exploración, es el comportamiento en la mayoría de las hembras parturientas durante la primera etapa del parto, con un extenso 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 búfalas, como signos de más dolor y estrés durante los partos distócicos, con la posibilidad de identificar los partos que pudieran llegar a causar un problema 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 becerro 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 de parto generalmente es más prolongada en búfalas primerizas que en multíparas (Mohammad y Abdel-Rahman, 2013). Con la rotura del corioalantoides y el derrame de fluido amniótico, la vaca comienza a lamerlos, se cree que esta rotura 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 podemos 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 esta segunda etapa, 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 becerro (Singh et al., 2017).

Figura 1. Imprintación de la búfala con su cría.



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 (Asl 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).

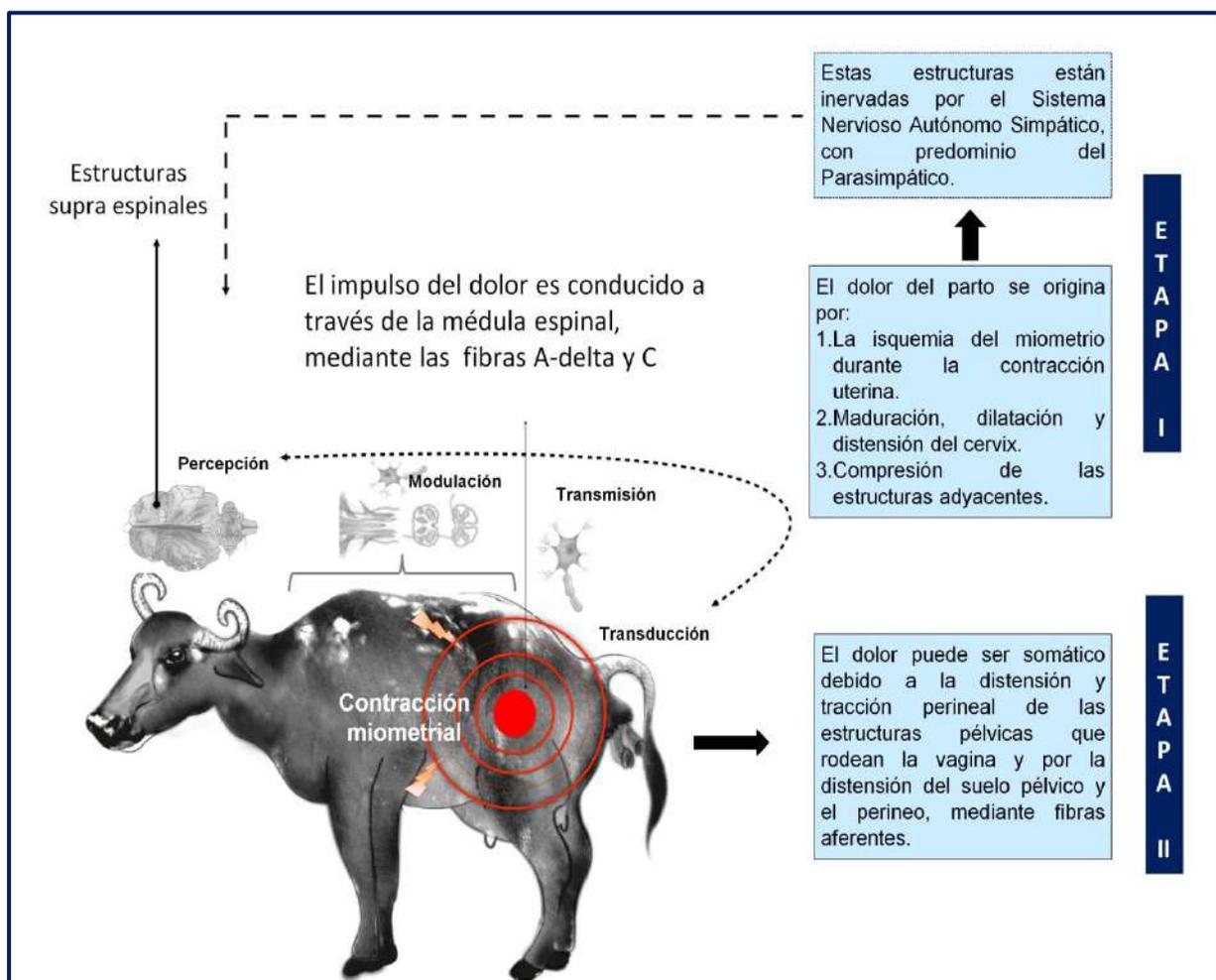
Comparativamente, Lowe (2002), encontró que, en mujeres, estos estímulos nociceptivos (fase de dilatación) se transmiten a los ganglios de la raíz nerviosa posterior en T10 (nervio espinal del segmento torácico que se origina en la columna vertebral por debajo de la décima vértebra torácica) a través 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 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., 2001a).

Figura 2. Transmisión del impulso doloroso durante el parto de la búfala.



2. 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 movimientos específicos que forman parte de la rutina diaria, vinculados con el horario, el trato durante la interacción humano-animal, así como el diseño del establo y las instalaciones en general (Polikarpus et al., 2014), que de no lograrse 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., 2014) favoreciendo la reducción en 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., 2004).

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 (Singh 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 becerros 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., 2014; 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 de factores, como son el 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). Aunado a lo anterior, 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 ordeña 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.

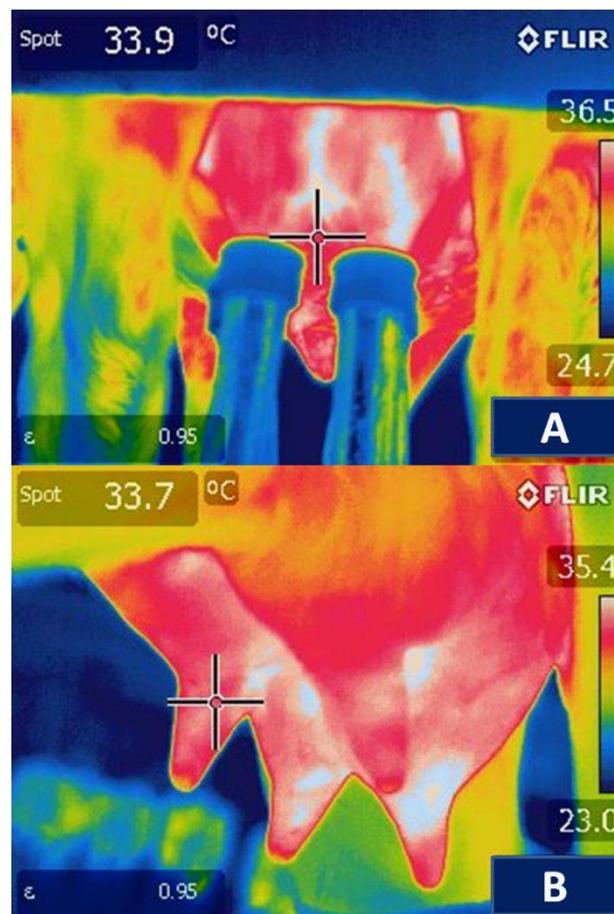
Factores predisponentes a mastitis

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 el procesamiento de sus subproductos, 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), además de aumentar los efectos negativos sobre el bienestar animal.

Un claro ejemplo de ello es la presencia de mastitis, que puede hacer que la leche sea menos apta para el consumo y procesamiento, ocasionando pérdidas económicas considerables debido al curso sub-clínico y la evolución crónica de la enfermedad (Rainard y Riollot, 2006). Como se mencionó

anteriormente, las malas prácticas en las rutinas de ordeño pueden llevar a una predisposición a mastitis debido a un deficiente vaciado de la ubre (Cavallina et al., 2008; De Rosa et al., 2009a).

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 post-ordeña. 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.



La mastitis de origen bacteriano en los grandes rumiantes es una de las enfermedades más comunes en la industria láctea, que 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 et al., 2019).

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, reducciones 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 y Ciaramella 2017), algunos investigadores encuentran frecuencias de mastitis similares para ambas especies (Guccione et al., 2014); así, la elevada prevalencia de infecciones intramamarias subclínicas (IMI) podría llevar a subestimar el tamaño del problema (Pisanu et al., 2019).

Las estrategias de manejo como la toma de consciencia sobre el ordeño eficiente, así como las medidas higiénicas, limitan en buena parte la propagación de bacterias gram positivas, ayudando a disminuir de forma significativa la proporción de aislados 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 para los animales, y, 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 generalmente asociado con la experiencia humana, el cual se considera relativamente subjetivo; 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 animales

individuales, 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 son dolorosos, con signos y molestia visibles en el animal, aunando a la disminución de la producción de leche, pérdida de peso corporal y posturas anormales (Huxley y Hudson, 2007). Por el contrario, en casos leves y moderados de la enfermedad clínica o bien, en la etapa subclínica, no es tan fácil caracterizarlos como dolorosos (Fitzpatrick et al., 1998).

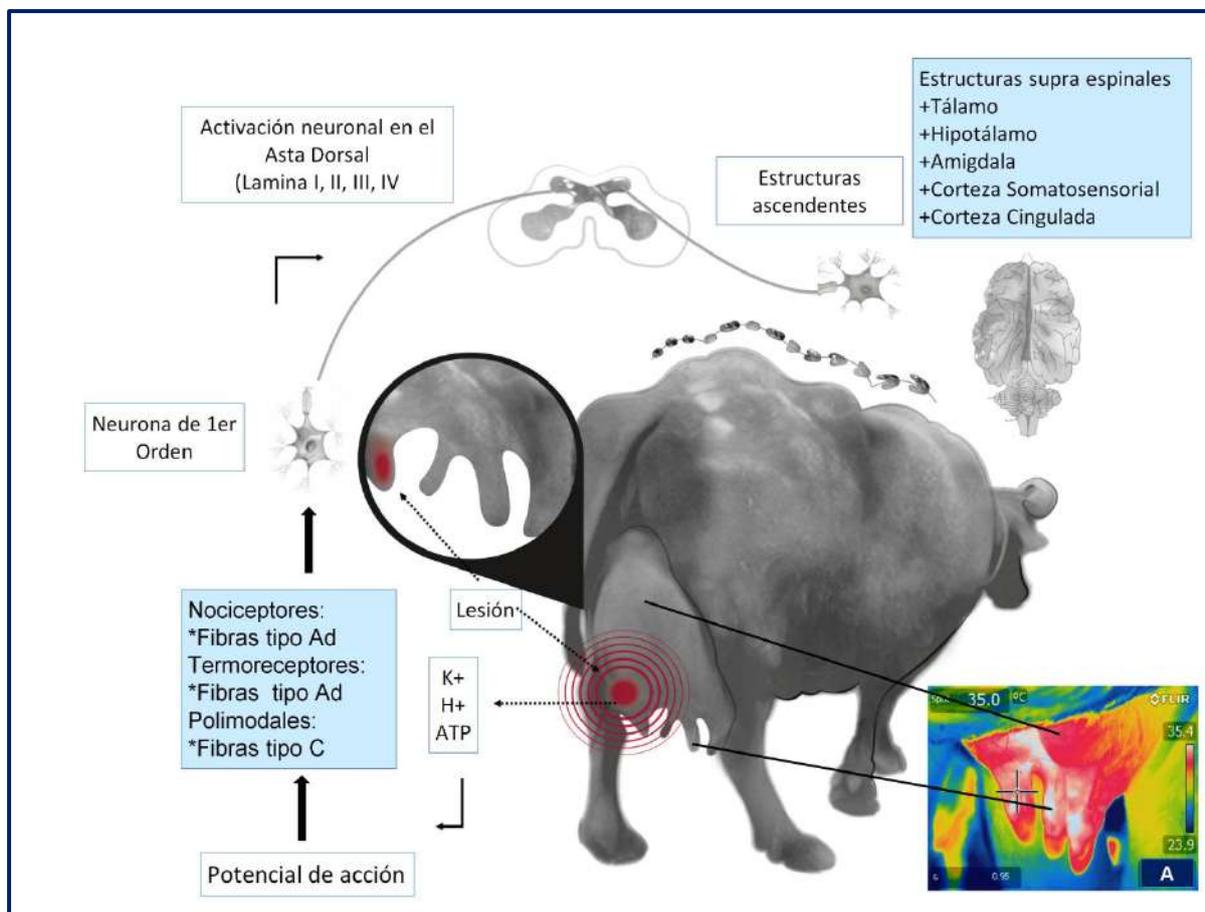
El dolor del pezón y de la ubre resulta de la estimulación química, mecánica o térmica de las terminaciones nerviosas libres que contienen nociceptores. Las células de los tejidos lesionados liberan mediadores inflamatorios, como prostaglandinas, histamina y bradicinina, estimulando a los nociceptores 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 este 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; Cycles 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 el lipopolisacárido 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 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 este mismo 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, el estrés generado durante el parto es una condición que afecta tanto el bienestar como la producción láctea, por ello es necesario conocer la dinámica del parto para diferenciar hasta donde es lo normal y hasta donde patológico. Otro elemento fundamental de la vida productiva de la búfala lechera es 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.

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.

Por lo que es muy importante el conocimiento de los aspectos básicos del comportamiento de la búfala durante el parto y ordeño, del 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>

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>

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. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74194-5](https://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>

CS, T., 2004. Milking management of dairy buffaloes. Swedish University of Agricultural Sciences.

Cyple, 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, R., 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., 2009. 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., 2009. 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>
- Fericean, L.M., 2016. Observations regarding the buffalo' s behavior raising in extensive system. *Res. J. Agric. Sci.* 48, 42–49.

- 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>
- 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>

Górecki MT, Wójtowski J, 2004. Stability of milking order in goat over a long period (short communication). *Arch. Tierz* 47, 203–208.

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, H.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., 2019. 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>

- 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>
- 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>
- Pankaj Kumar Singh, 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>

Poindron, P., 2005. Mechanisms of activation of maternal behaviour in mammals. *Reprod. Nutr. Dev.* 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>

- 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, B.S., 2001. Buffalo calf feeding and management. *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>
- Ramirez M, Soto R, Poindron P, Alvarez L, Valencia JJ, Gonzalez F, T.A., 2011. Maternal behaviour around birth and mother-young recognition in Pelibuey sheep. *Vet. Mex.* 42, 27–46.

- 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>

- 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>
- 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](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>

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>

Distocia en búfalas: complicaciones obstétricas

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 10

Distocia en búfalas: complicaciones obstétricas

Daniel Mota, Fabio Napolitano, Julio Martínez-Burnes, Giuseppe De Rosa, Ada Braghieri, Miguel González, Antonio Di Francia, Francesco Serrapica y Agustín Orihuela

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 atractiva 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).

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).

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).

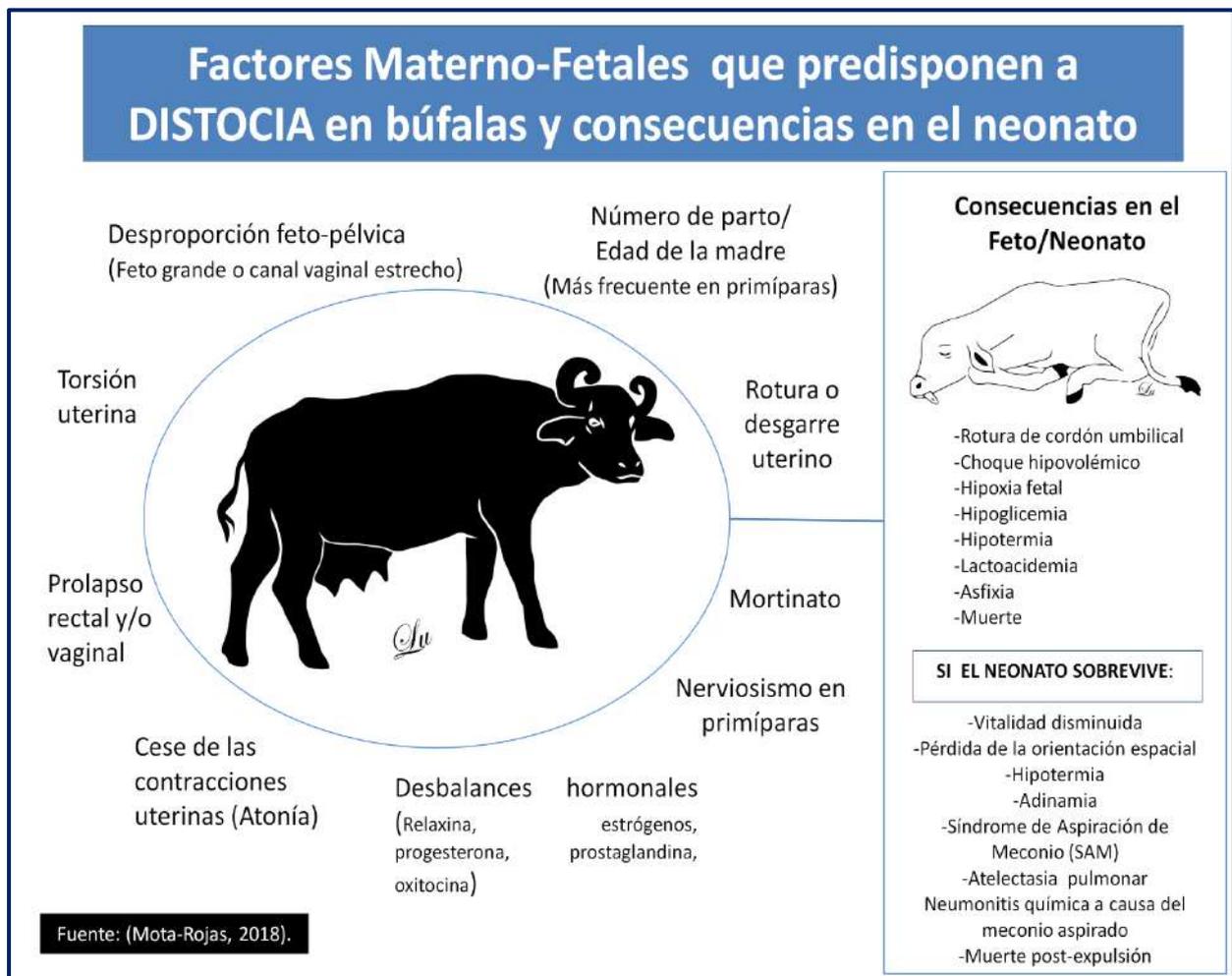
Las razones de una incidencia baja de partos problemáticos o asociados a complicaciones obstétricas en el búfalo, podrían deberse a diferencias anatómicas entre el ganado doméstico del género *Bos* y el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) (Purohit et al., 2012). Los búfalos tienen una pelvis más amplia, 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 y afectando el bienestar de la cría y en la economía de 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 ginecología 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.

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).



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.

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).

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 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).

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 (Jadon et al., 2005). Así mismo, en partos donde hay complicaciones, se incrementa la manipulación obstétrica regularmente séptica, 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 posparto en el útero (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). 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 intensidad 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)

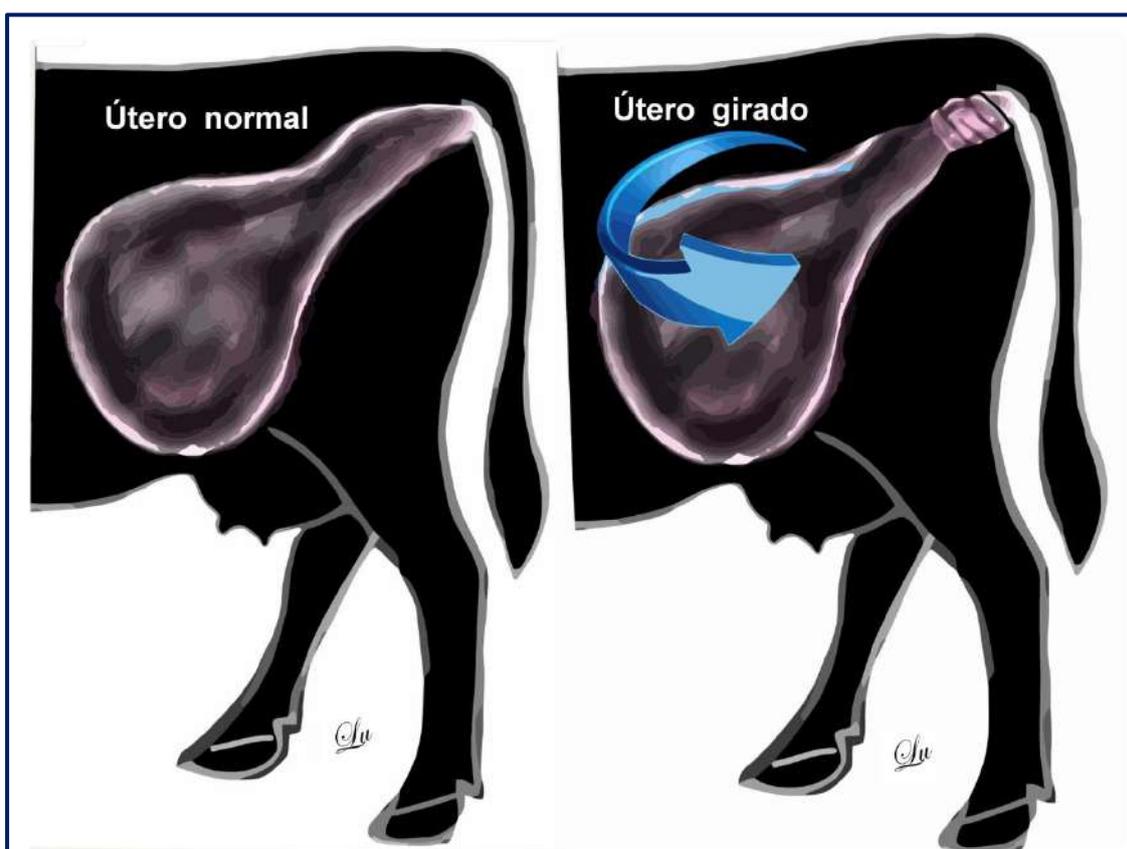
(Figura 2). En estas condiciones, los movimientos bruscos del feto pueden favorecer que el útero se doble o se enrolle. Para complicar más las cosas, la torsión puede ocurrir justo antes del término de la preñez y puede ser difícil de diagnosticar debido a la ausencia de signos clínicos definitivos. 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 en 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 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 suplementos de calcio y fósforo se aplicaron una vez por infusión intravenosa lenta (450 ml de Mifex, Novartis®) porque los autores supusieron que la hipocalcemia podría ser en parte responsable del prolapso o también la cistitis (Kumar et al., 2015). Sin embargo, aunque hubo una ligera mejoría, el prolapso continuó hasta que tratamiento antibiótico se administró vía intrauterina e intravesical y controló el problema.

RETENCION 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 encuentran 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 esta condición 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 anteriores 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 entre partos más largos 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 pérdidas neonatales asociadas con pérdidas económicas, no solo por la mortalidad de terneros sino también por 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.
- 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_bufalo_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 F₂α 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/>

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>.

- 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.
- Streyll, 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.

Factores de riesgo fetales y maternos que predisponen a mortinatos en búfalas

BM EDITORES.





CAPÍTULO 11

Factores de riesgo fetales y maternos que predisponen a mortinatos en búfalos

Daniel Mota, Fabio Napolitano, Miguel González, Julio Martínez-Burnes, Ada Braghieri, Alfonso López, Giuseppe De Rosa y Agustín Orihuela

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). 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). Sin embargo, en diversos estudios también consideran mortinato 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; 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, 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 Incidencia de mortinatos en:	Autor
Promedio y desviación no ajustados	Pakistán	7.59±13.49% no especifica 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 et al. (2017).
	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 et al. (2017).
	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 et al. (2017).
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 et al. (2017).
	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 y búfalo (la leptospirosis representa grandes pérdidas económicas por sus efectos adversos en el feto y aparato reproductor de la madre)	Alamuri et al. (2019).
Brucella	Haryana, India	Vaca lechera y búfalas de agua	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 et al., (2017), 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 cruces 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 a los productores para que aumenten los 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 et al. (2017) 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 una vez que 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 que nacidos muertos incrementa con el peso de los becerros al nacimiento; tal resultado 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., 2019).

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 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; $P < 0.0001$).

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, como sería mediante la detección temprana con ultrasonido para permitir cambiar la alimentación en las hembras con preñeces gemelares. Las cuales 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. Estos incluyen, aunados a los previamente mencionados; 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. En sí misma, 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.

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

- 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>.
- 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-Necochea, R., Napolitano F., 2019. 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>

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.

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.

- 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., 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/PAVSNR202015013>
- 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 brench 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., Ciszter, L.T., Demirkan, I., 2009. Stillbirth in dairy cattle: Review. *Lucrari Stiintifice Zootehnie si Biotehnologii.* 42(622-636).

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.

Mecanismos neurofisiológicos de la impronta en la búfala y otros animales de granja

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 12

Mecanismos neurofisiológicos de la impronta en la búfala y otros animales de granja

Agustín Orihuela, Daniel Mota, Rodolfo Ungerfeld, Fabio Napolitano, Ana Strappini, Giuseppe De Rosa, Ada Braghieri y Patricia Mora

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 (Mora-Medina et al., 2018a; Mandujano-Camacho, 2010). 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 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**).

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).



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).

La impronta comprende un periodo de tiempo limitado, por lo 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 (Langmore, 1998; Laland, 1994). 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 reportó 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 sus 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, y 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 se ha reportado la existencia de 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 gran 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 & 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. Esto es característico de 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).

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).



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 3 semanas de vida del cachorro (Santos et al., 2020). La perra estimula frecuentemente al cachorro: una de las conductas 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 de este modo estimularlo para que orine y defeca (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 & 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) produce 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 cual 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 ya poco tiempo después 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 & Poindron, 2002). En el caso de los búfalos se desarrolla un vínculo duradero entre la búfala y el becerro ya poco después del nacimiento, el que se sostiene en 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 seguir a la madre poco después del nacimiento, y pueden empezar a mamar en menos de 1 hora, lo cual permite el reforzamiento y el 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 se ha observado que las madres categorizadas como muy 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 (Špinko 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 maman solamente 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, sea propio o ajeno (Poindron, 2005; Keller et al., 2003). Por el contrario, 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), se ha observado que 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 bebés humanos, 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, y 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,

y 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.

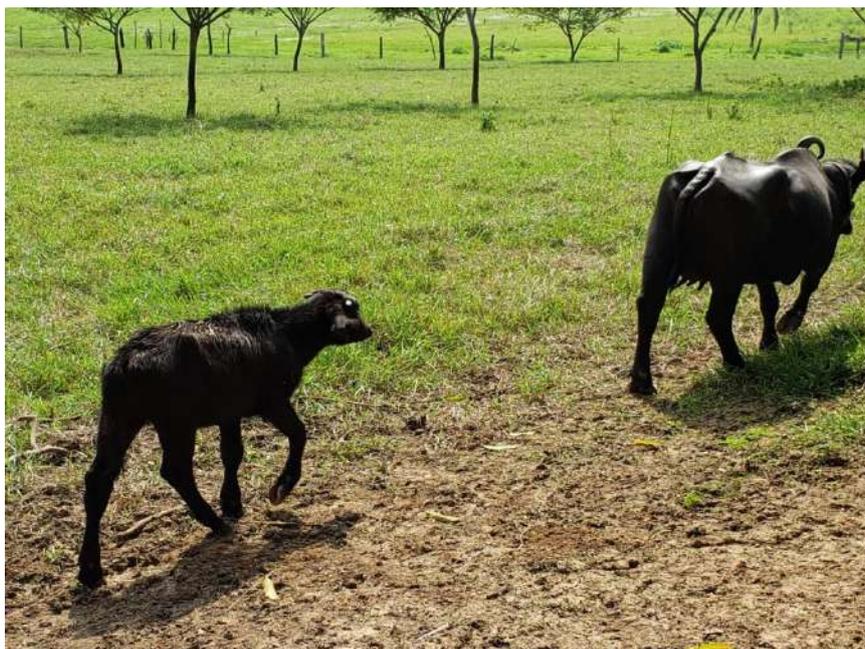


En las razas de búfalos Murrah y Surti, inmediatamente después del nacimiento, la madre se pone de pie (Dubey et al., 2018), lame a la cría y la olfatea (Yadav et al., 2009). Con esta actividad, la búfala (Dubey et al., 2018) estimula el centro respiratorio, la circulación, la micción y la defecación 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 English, 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 3 h 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 a varios factores tales como la edad de la cría y el tipo de alojamiento, como se ha visto 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). Se ha documentado en perros y ovejas, que 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 (Špinko 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. Se ha observado que 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 emana el 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, esta 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 acelerarían 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 móvil 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, como lo reportó Keller et al. (2003) en ovejas, donde la eficiencia de la vista para reconocer a sus corderos a la distancia es mayor en ovejas multíparas 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 complejo proceso 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 sensible 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 visual, auditiva y olfativa, 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 sensoriomotores 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. NEUROTRANSMISORES INVOLUCRADOS EN 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 inhibitoras 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). En ovejas, la aceptación materna de sus propios corderos ocurre después de la impronta.

Sin embargo, la manipulación perinatal del sistema de oxitocina en animales proporciona una fuerte evidencia 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 es secretada por células denominadas lactotopos, 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 producida 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 del mismo (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 haber recibido la información necesaria de su 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 ha desplazado de su lugar de parto o ha sufrido 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. Se ha documentado que 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 abandonan 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, incrementándose las conductas afiliativas (Dwyer y Lawrence, 2000). La conducta negativa de las madres primíparas se explica por su falta de experiencia, se debe 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 para parir del resto del rebaño; 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 and Smith, 2008; Dwyer and Lawrence, 2000). Los corderos nacidos de ovejas primíparas demoran más tiempo en pararse,

en mamar, y lo logran recién 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. Se ha determinado que algunas razas presentan mayor instinto materno 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, se ha reportado que hay una alta frecuencia 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. Se ha demostrado que 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 en la cría dentro de la unidad de producción intensiva y/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 en 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 contribuye a mejorar las relaciones entre sus coespecíficos.

REFERENCIAS

- Abitbol, M.L., English, 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-Necochea, 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-Brooks, 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 behaviors. *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 ruminant species (*Capra hircus*). *Anim. Cogn.* 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., Ngermsoungner, 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 walrus *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., Banchemo, 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., Banchemo, 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, Fahrnbach 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., Cladji, 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-Necochea, 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 I-1616.
- 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.
- 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.

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. [Htps://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., McElliot, 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>

Estrategias de destete para incrementar la productividad y el bienestar animal en búfalo de agua y ganado cebú

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 13

Estrategias de destete para incrementar la productividad y el bienestar animal en búfalo de agua y ganado cebú

Agustín Orihuela, Daniel Mota y Fabio Napolitano

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). 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 diferentes especies, con genotipos desarrollados en respuesta a ambientes específicos, resultando en fenotipos y características fisiológicas diferentes (Sartori et al., 2010).

Diferencias importantes entre estas dos 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. 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 que 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 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 las existentes 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

más inmaduros 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 temperatura, 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 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 trasmisión de enfermedades, morbilidad y mortalidad en los becerros.

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).

Becerros 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, tiene 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 a el 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 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, a partir de los 15 días de edad. 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 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.

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 la presencia del becerro (Randel 1981). Además, el destete temprano incrementa el 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, pesando no menos 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 las subsecuentes. Dos semanas después de la separación, los becerros separados en potreros contiguos ganan 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 a 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

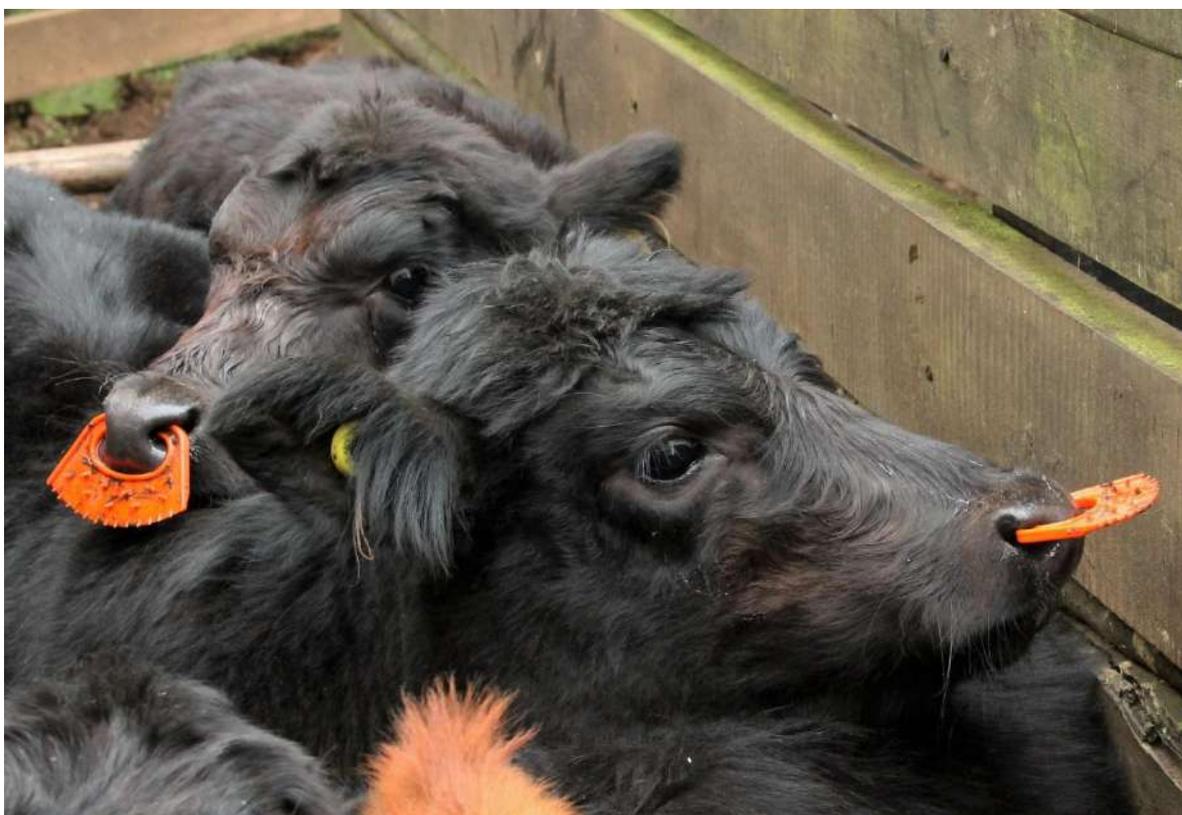
El equipamiento de los becerros con dispositivos anti-amamantamiento que permiten que ingieran alimento sólido pero no puedan mamar (Haley, 2005), favorece que los becerros se acostumbren al consumo de alimento sólido sin el efecto concurrente de la separación de sus madres y exposición a condiciones 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 es de $63.06 \pm 0.06\%$, afectada por el amamantamiento y el número de pariciones. La tasa de preñez es 33% mayor en las vacas que amamantan dos veces al día. Cuarenta y 4% de las novillas primerizas en el grupo de amamantamiento de dos veces por día quedan 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 los 270 días de edad, con una tendencia a que los becerros separados por periodos mayores logran 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.

El Cuadro 1 resume algunas de las estrategias de destete descritas anteriormente y su impacto en el bienestar y la producción animal.

Cuadro 1. Resumen de las estrategias de destete y su impacto en el bienestar y 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
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

Consejos prácticos para la reducción del estrés de 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 introducir a los becerros a 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., Gasparrini, 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/PAVSNR201914035>

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>

Nicol, A., 1977. Beef cattle weaning methods. *New Zeal J Agr* 134, 17-18.

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>

- 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., Banchemo, 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., Bronsvort, M.B., Kiara, H., Toyé, 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>
- 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.

Hallazgos reproductivos en el búfalo de agua mediante el uso de la termografía infrarroja

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 14

Hallazgos reproductivos en el búfalo de agua mediante el uso de la termografía infrarroja

Aldo Bertoni, Daniel Mota, Fabio Napolitano, Jesús Berdúgo, Gustavo Crudeli, Corrado Pacelli, Adolfo Álvarez, Armando Morales, Jocelyn Gómez, Francesco Serrapica, Nancy José y Agustín Orihuela

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., 2019).

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., 2019).

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 a la correcta gestión 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), así también para evaluar los cambios de temperatura cutánea y en la evaluación de mastitis en vacas lecheras (Colak et al., 2008), los 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 procesos fisiológicos, reproductivos y de 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., 2019). Por tal motivo, en el presente artículo de revisión se analizan y se 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 asociados con otros en la detección del estro y con la salud de la ubre en las hembras.

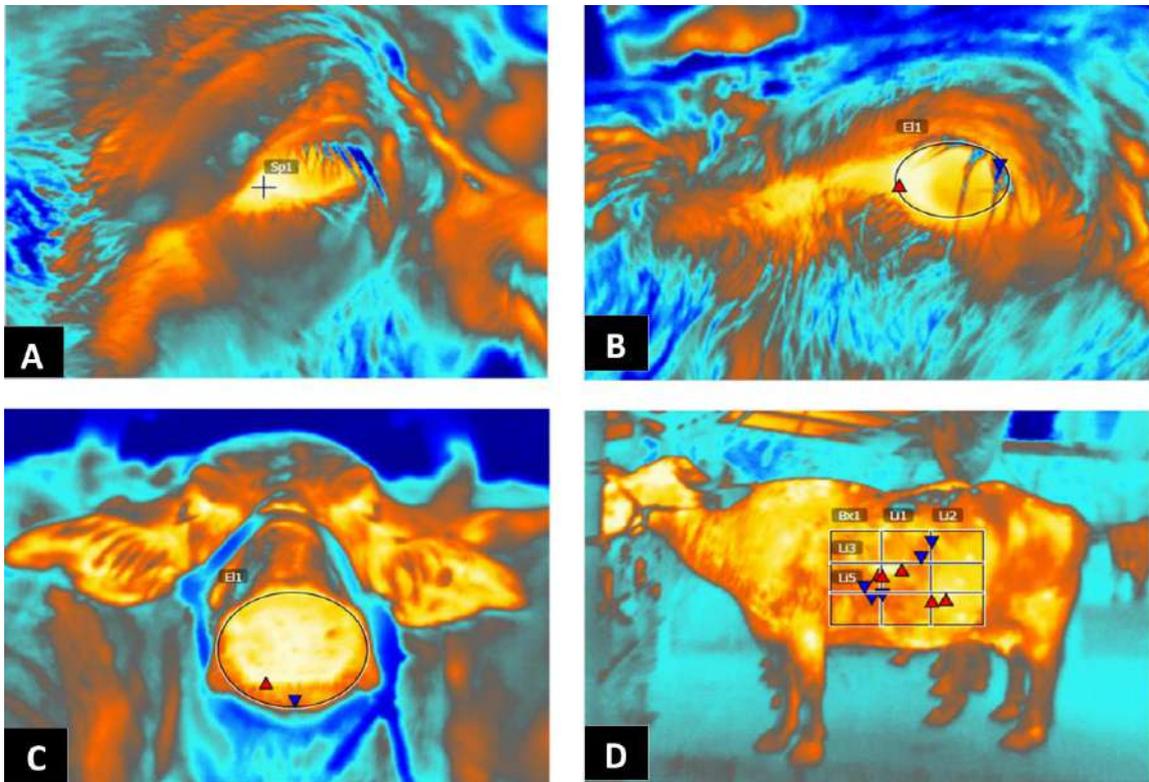
VENTANAS TÉRMICAS EN EL BÚFALO DE AGUA

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 vascularidad y, principalmente, 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, le 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 de los cambios de la temperatura corporal, atribuidos a una respuesta simpática del sistema nervioso autónomo (Travain et al., 2015).

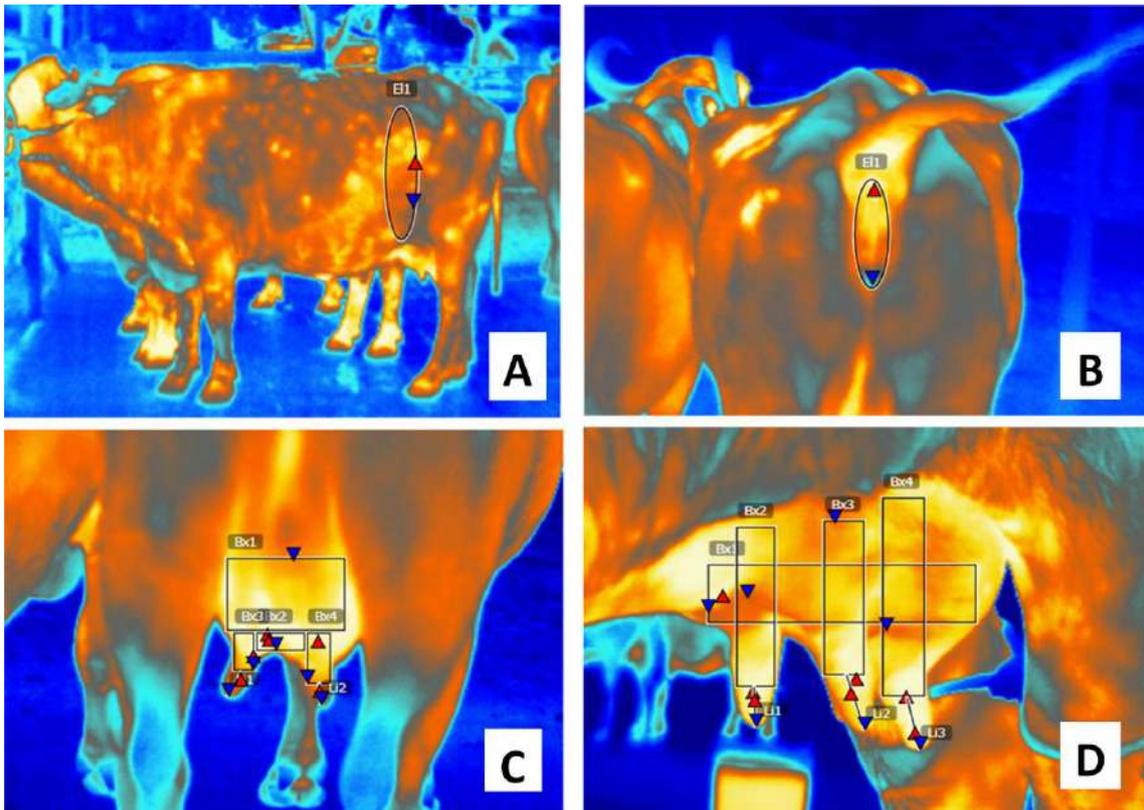
De acuerdo con Barros et al. (2016) y de Ruediger et al. (2018), la región ocular es la que mejor revela la temperatura rectal y la que menos interferencia de la temperatura ambiental experimenta. En el termograma obtenido con una emisividad de 0.95, esta región está rodeada por una elipse que abarca 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 puede 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 esperma, pues el aumento de temperatura testicular eleva la probabilidad de alterar la espermatogénesis, afectando la movilidad, viabilidad y morfología (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 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 a lo reportado por 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 registró 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 de 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 y 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 (García 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 las que se ha enfrentado la ganadería bufalina productora de leche radica en la identificación y detección del estro en las hembras, 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 ginecoclínicos, 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, que también fueron colectadas.

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 el P_4 en el plasma, coincidiendo con lo propuesto por Sykes et al. (2012), mientras que la temperatura superficial del morro y de 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 progesterona 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 de los momento óptimos 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., 2019). 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 progesterona, 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 and 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).

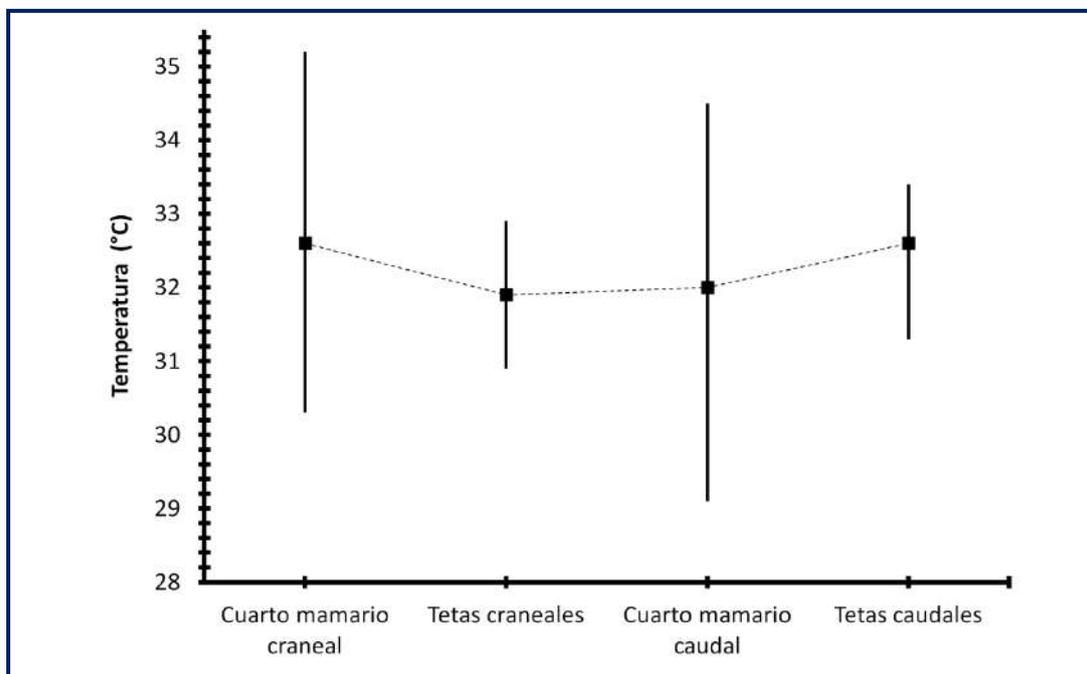
Otro aspecto sobresaliente en el grupo de las búfalas lactantes del estudio de Chacur et al. (2018), es una reducción de la temperatura rectal y de la superficie de la cisterna, hecho que puede estar relacionado con la disminución de la actividad metabólica y el flujo sanguíneo que ocurre durante la 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.

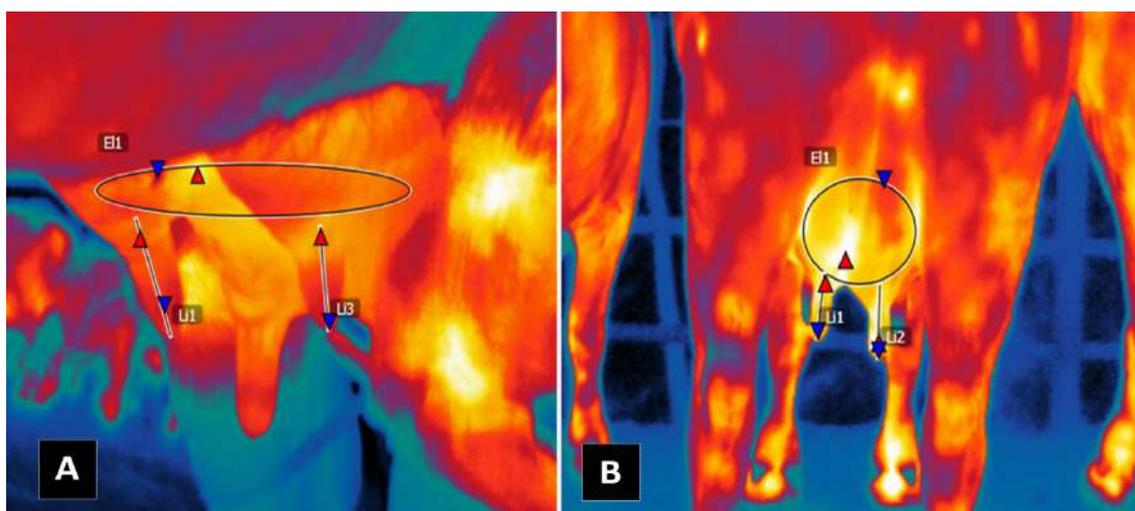


TEMPERATURA SUPERFICIAL DE BÚFALAS EN EL ORDEÑO

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 altas temperaturas mientras esperan, particularmente en sitios que no cuenta 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.

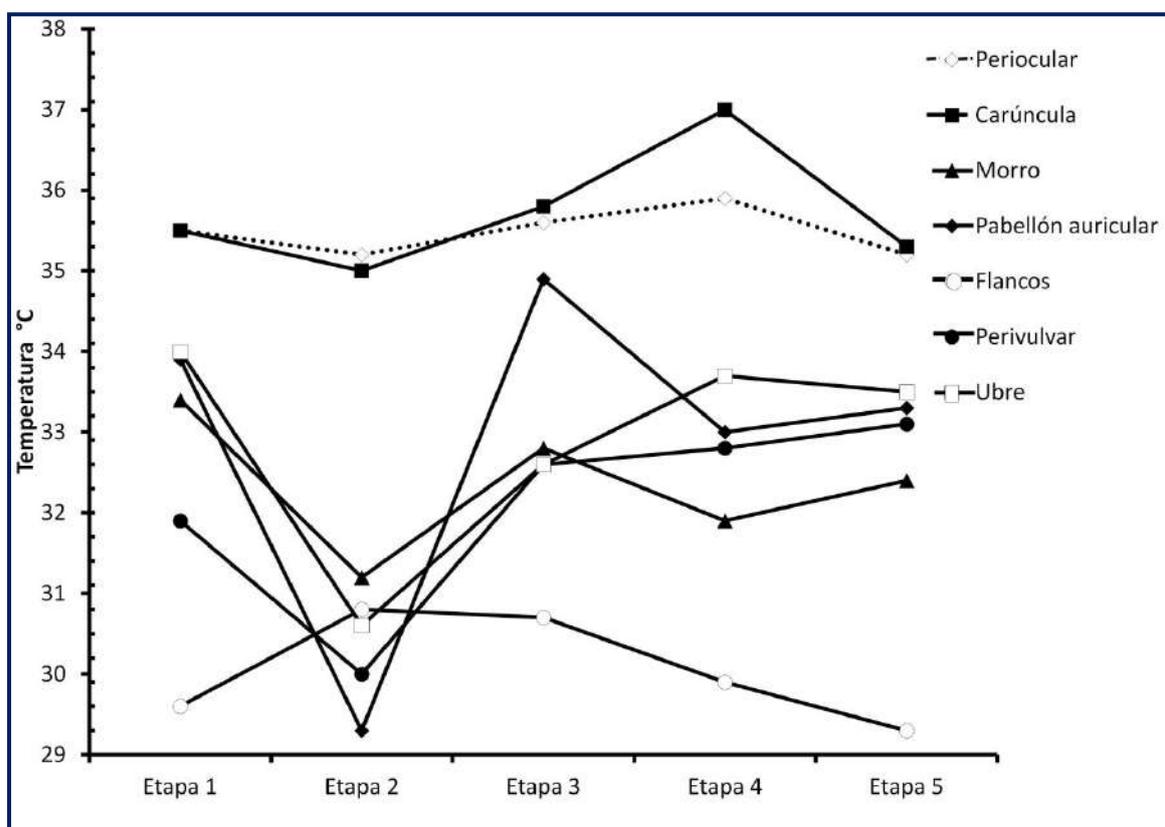
Figura 6. Termogramas infrarrojos de la región lateral izquierda (A) y caudal (B) de la ubre de la búfalo de agua inmediatamente después de concluido el ordeño mecánico convencional. Se observan áreas con una coloración amarillenta o blanquecina que representan las zonas con mayor temperatura (de aproximadamente 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 de concluido el ordeño (Ver **Figura 7**). Se aprecia que la

temperatura superficial más baja, independientemente de la etapa, está en el flanco y la temperatura superficial promedio más alta es reconoce en la carúncula lagrimal.

Figura 7. Cambios térmicos registrados por IRT en región periorcular, carúncula lagrimal, morro, pabellón auricular, ijar, perivulvar y ubre de la búfalo 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 periorcular 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.

A pesar de la novedad del tema en esta especie, así como la rusticidad de la misma, pueden sufrir interferencias por modificaciones ambientales, por lo que se recomienda continuar con estudios sobre el uso de la IRT 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 podría 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., 2019. 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>

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>

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 Fisiología 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., 2019. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>
- 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/jappphysiol.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>

Ordeño manual y mecánico: vínculos con productividad, bienestar animal y rentabilidad

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 15

Ordeño manual y mecánico: vínculos con productividad, bienestar animal y rentabilidad

Aldo Bertoni, Daniel Mota, Adolfo Álvarez, Rosy G. Cruz, Isabel Guerrero, Patricia Mora y Efrén Ramírez Bribiesca

INTRODUCCIÓN

La leche 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. 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 y, (Gargiulo et al., 2020), en última instancia, del nivel 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 ubres de la hembra, generalmente asociado a 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. Por ello, el objetivo del 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); 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 ubre 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., 2019). 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).

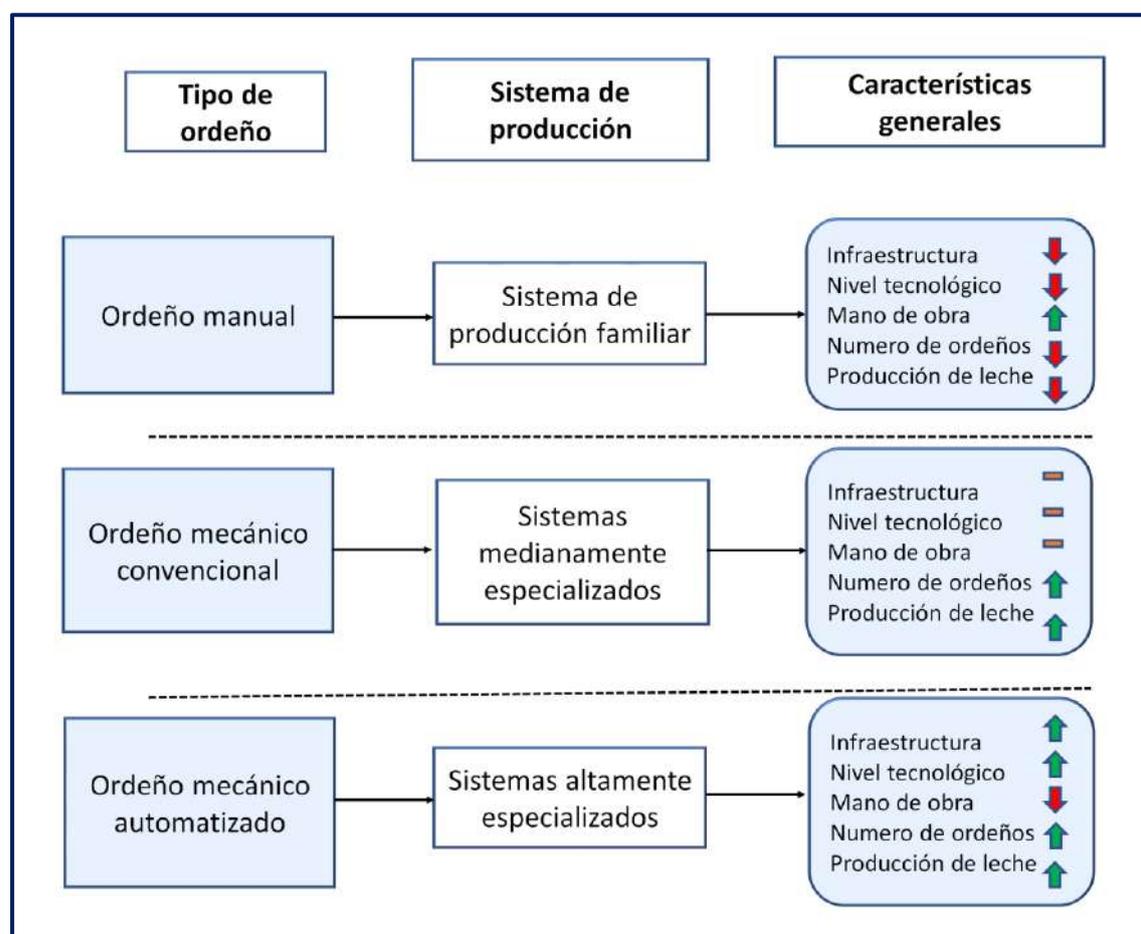
Figura 1. Sistema de ordeño manual y mecánico convencional en búfalas de agua. A. Vista lateral del proceso de ordeño mecánico. **A'.** Vista caudal del inicio del proceso del ordeño y el uso del becerro como estímulo sensorial táctil para la eyección de leche. **B** Proceso de ordeño mecánico convencional.



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., 2019). Para el vaciado alveolar se procede presionando de forma descendente la ubre 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 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 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 personal restante debe ser calificado, 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.

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).

VÍNCULOS CON LA PRODUCTIVIDAD

En la mayoría de los sistemas de producción, el objetivo principal es captar la mayor cantidad de leche, con la mejor calidad posible. Para ello, intervienen diferentes factores, entre los que destaca la frecuencia de ordeño, que influye en el nivel de productividad (Andrade 2016). La mayor frecuencia de ordeño se correlaciona positivamente con 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 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 (Acosta y De Souza, 2017).

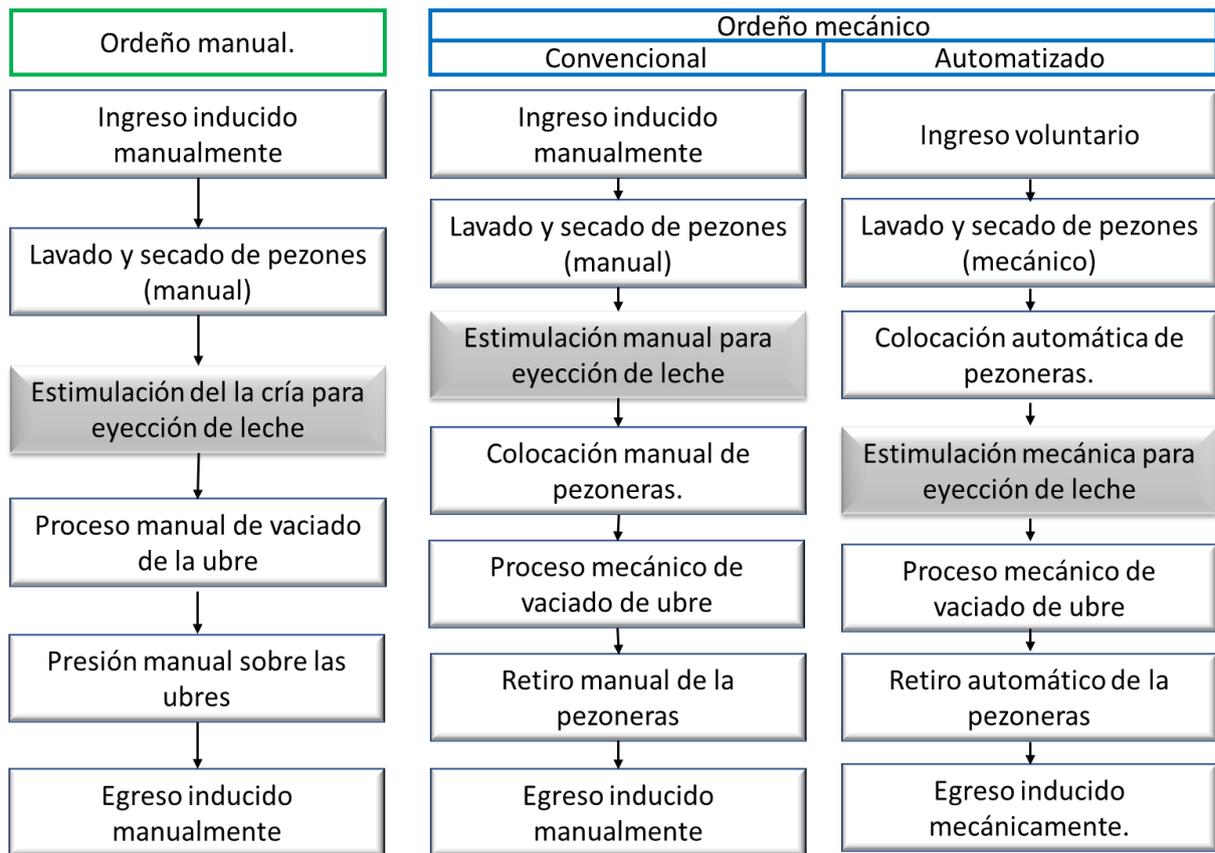
LA SALUD DE LA UBRE COMO ELEMENTO CLAVE DE LA ORDEÑA

Aunque de corta duración, en cualquier método de ordeño se pueden causar alteraciones circulatorias (congestión y / o edema) en los fluidos del 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 apearse a las buenas prácticas para evitar o, de ser el caso, atenuar los problemas de mastitis (Alejandro et al., 2014).

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 eyeción de la leche y su repercusión en el estado de salud de las ubres y

en la calidad bacteriológica de la leche obtenida (Ruiz et al., 2011), por los procedimientos de higienización de pezones y de los utensilios empleados.

Figura 3. Proceso general del ordeño manual y mecánico (convencional y automatizado)



A pesar de los métodos modernos establecidos para el control de la salud de la ubre, 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).

En 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 problemas de sobre-ordeño o mal funcionamiento del equipo o ambos y por consiguiente de mastitis (Alejandro et al., 2014; 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 ubre (Wandurraga, 2019).

BIENESTAR ANIMAL

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 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., 2019b). A continuación, se describen dos de los principales estresores durante el ordeño:

Estrés por ruido. En sistemas de ordeño manual, la emisión de sonidos intensos provenientes de este procedimiento prácticamente es nula, caso contrario en los sistemas mecanizados donde se perciben sonorizaciones al momento de operar los sistemas de motorización eléctrica, que podrían generar estrés previo a la habituación de las hembras primerizas (Jacobs y Siegford, 2012; García-Castro et al., 2019), que podría impactar en la 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. Demostraron que el efecto del ruido sobre la salud de la ubre puede menguarse 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, Algiers 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 en 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 (Temple et al., 2018; Míguez, 2009). Si los animales están estresados, 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 ubre almacena en el compartimiento alveolar del 92 al 95% de la leche y el resto en la cisterna (5%) (Bertoni et al., 2019), lo cual induce al uso de oxitocina exógena para que una mayor proporción de leche pueda ser expulsada (Polikarpus et al., 2014).

Interacción humano-animal. La interacción de los animales con los seres humanos (Mota-Rojas et al., 2019b), 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 de calidad durante el ordeño (Cavallina et al., 2008; Polikarpus et al., 2014).

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, las granjas 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 se eleva el consumo energético como el uso y contaminación de 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 cortos de comercialización.

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

En la industria láctea es común que se sugiera el uso de la ordeña mecánica, tanto por rendimiento, inocuidad, como por calidad de la leche; sin embargo, se deben fomentar programas de capacitación y asesoría técnica que incorporen las ventajas de la ordeña mecánica donde también se cumplan con estándares de bienestar animal, sanidad, higiene y alimentación, entre otras que suelen derivar en mayores rendimientos y calidad de la leche y, de esa manera, es muy posible que se mejore la rentabilidad de las unidades productivas.

REFERENCIAS

- 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>

² Revisar para el caso de México, los múltiples trabajos de F. Cervantes Escoto, (Ej. F. 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.

- Bertoni, A., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Sabia, E., Álvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Morales-Canela, A., Berdugo-Gutierrez., Guerrero-Legarreta, I., 2019. 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>.
- 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 Jesus, R.N., 2011. Good Milking Practices and The Hygienic Quality Of Milk In Ecuador. *La Granja*, 14(2), 45-57.
- 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>

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.

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.

García Castro, F., Zúñiga López, A., Flórez Castañeda, D.C., Cubides Cárdenas, 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(2), 691-698.
<http://dx.doi.org/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

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>

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)

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>

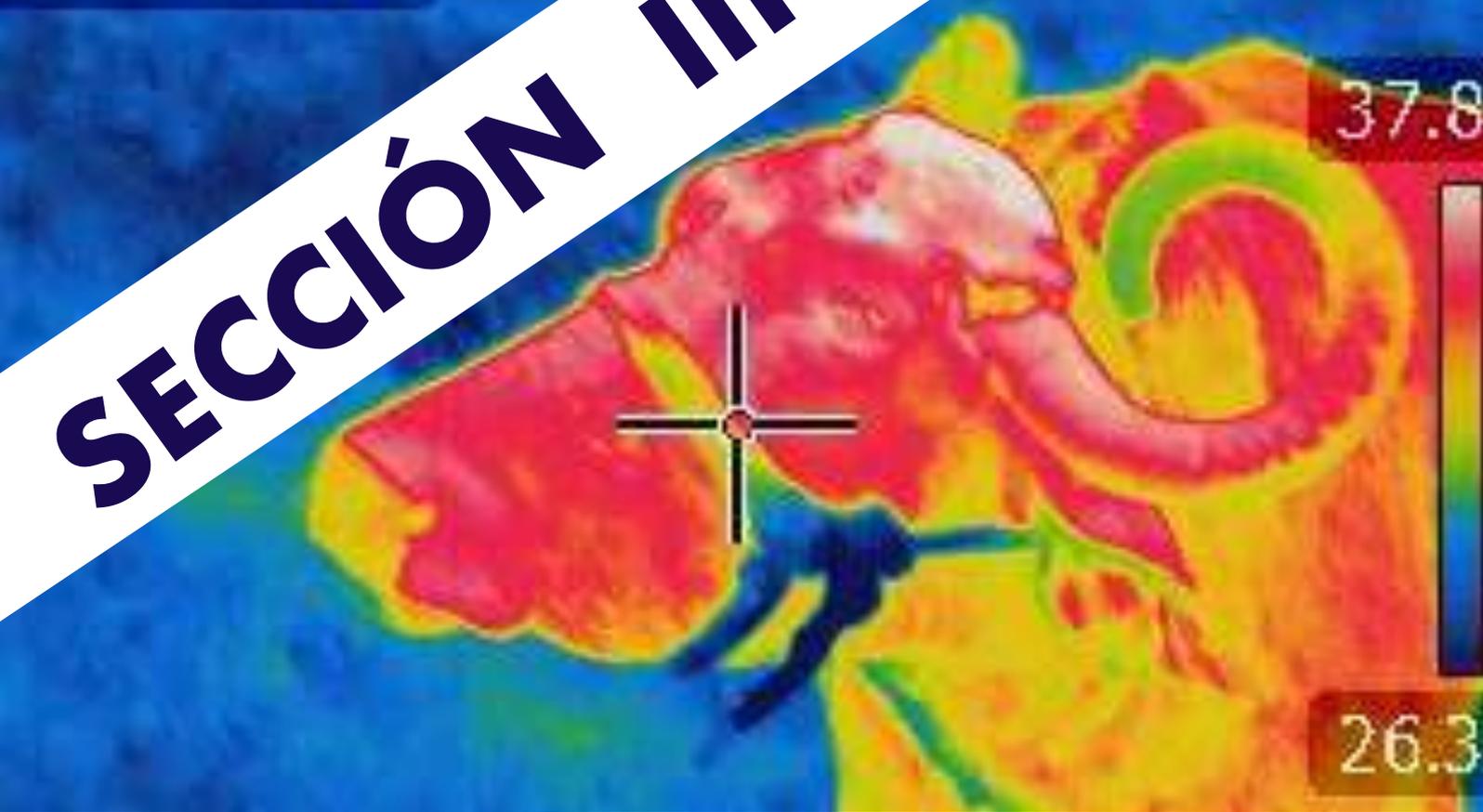
- Mota-Rojas, D, Broom, D.M., Orihuela, A., Velarde, A., Napolitano, N., Alonso-Spilsbury, M., 2019b. Effects of human-animal relationship on animal productivity and welfare. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 8, 196-205. <https://doi.org/10.31893/jabb.20026>
- Munish, K., Mehla, R. K., 2011. Milking management practices of buffaloes in the rural areas of Punjab. *Indian J. Anim. Prod. Manag.* 27(1/2), 23-25.
- Orihuela, A., Mota-Rojas, D., Velarde, A., Strappini-Asteggiano, A., Thielo de la Vega, L., Borderas-Tordesillas, F., et al. 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>
- Ramón Estévez, J.N., Ratrepo Botero, J.E., Ruiz-Cortés, T., Olivera Ángel, 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.

- 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.
- Temple, D., Brunso, E. M., Llonch, P., Vilanova, X.M., 2018. Bienestar durante el ordeño. *Albóitar: publicación veterinaria independiente*, (216), 8-10.
- 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>

Spot 34.0 °C

FLIR

SECCIÓN III



TERMORREGULACIÓN Y AMBIENTE

0.95

12:49 PM

Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja

BM EDITORES

CAPÍTULO 16

Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja

Daniel Mota, Fabio Napolitano, Juliana Sarubbi, Ada Braghieri, Julio Martínez-Burnes, Aldo Bertoni, Marcelo Daniel Ghezzi, Jocelyn Gómez, Nancy José, Armando Morales, Brenda Reyes y Agustín Orihuela

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.

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 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 puede ser perjudicial (Ablas et al., 2007; Bertoni et al., 2019a,b; Marai y Haebe, 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 3,000 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 CALOR EXTREMO

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

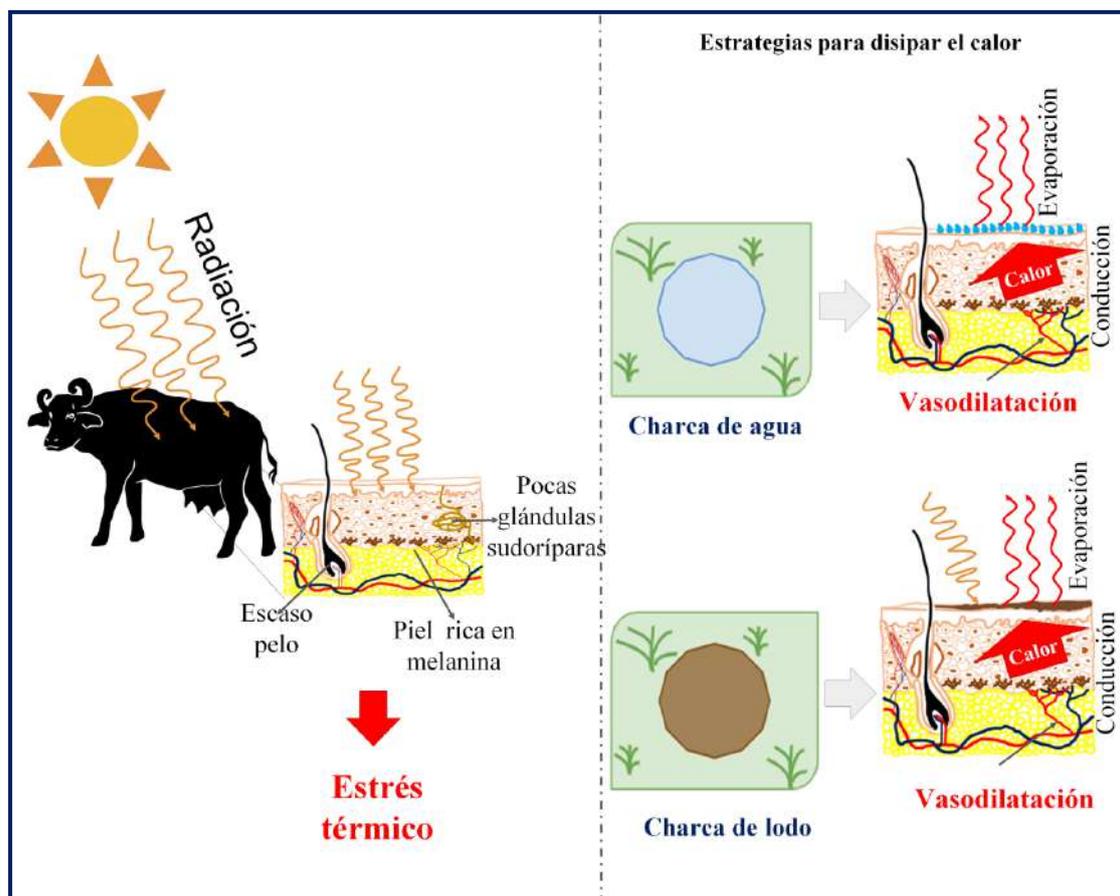
vasodilatan para facilitar la disipación del calor mientras permanecen en el lodo o el agua, equiparando el resultado con los animales que sí pueden sudar (Aggarwal y Upadhyay, 2013; Guerrero-Legarreta et al., 2019; Khongdee et al., 2011; Oliveira et al., 2013) (**Figura 1**).

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 qué durante períodos con temperaturas ambientales elevadas, se reduce la producción de leche, el crecimiento y la fertilidad del búfalo (Marai y Haeeb, 2010).

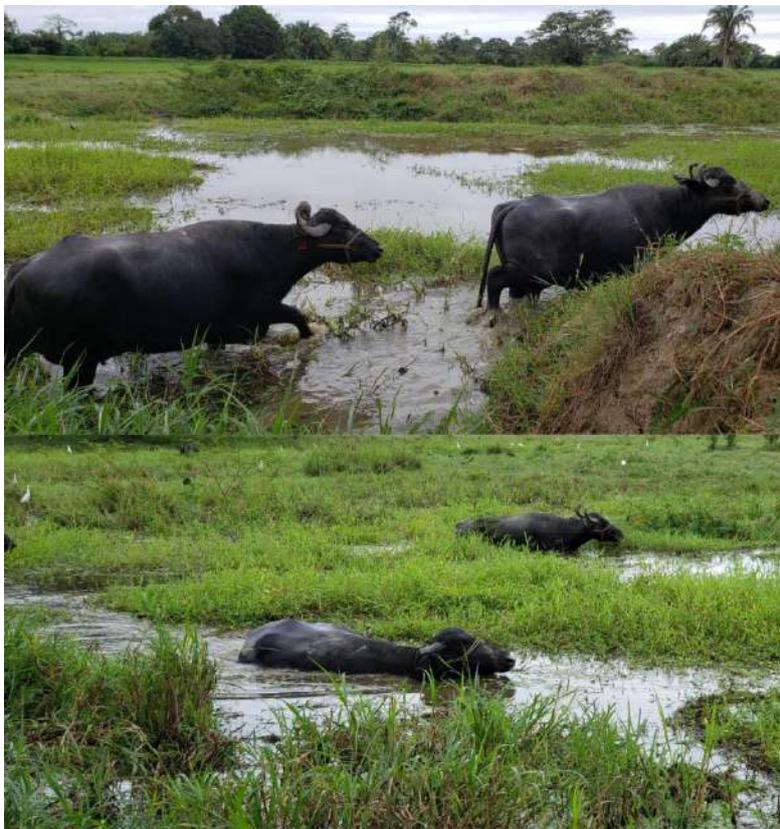
En condiciones de pastoreo, el búfalo pasa la mayor parte de su tiempo en dos categorías principales de comportamiento: alimentación (incluyendo pastoreo y rumia) y descanso. El revolcarse y enlodarse, particularmente en la estación cálida, representan comportamientos específicos del búfalo que le permiten 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 térmico (Marai y Haebe, 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 térmico, 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., 2018; 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, H., Zhenzhong et al., 1994).

Figura 2. Termorregulación en búfalos de agua en el trópico húmedo



Al proporcionar techo y sombra a búfalos jóvenes se reduce el estrés térmico, 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 temperatura rectal y la frecuencia respiratoria (Castro et al., 2008). Cuando se expone a búfalas jóvenes a la radiación directa de 11:00 a 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**).

Cuando la producción de calor corporal es mayor que su disipación, los búfalos sufren estrés térmico (Khongdee et al., 2011; Gu et al., 2016) 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 térmico, sombras naturales (**Figura 4**) 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 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 las 13:00 pm el búfalo se encuentra más susceptible a experimentar estrés por calor (Emisividad 0.95).

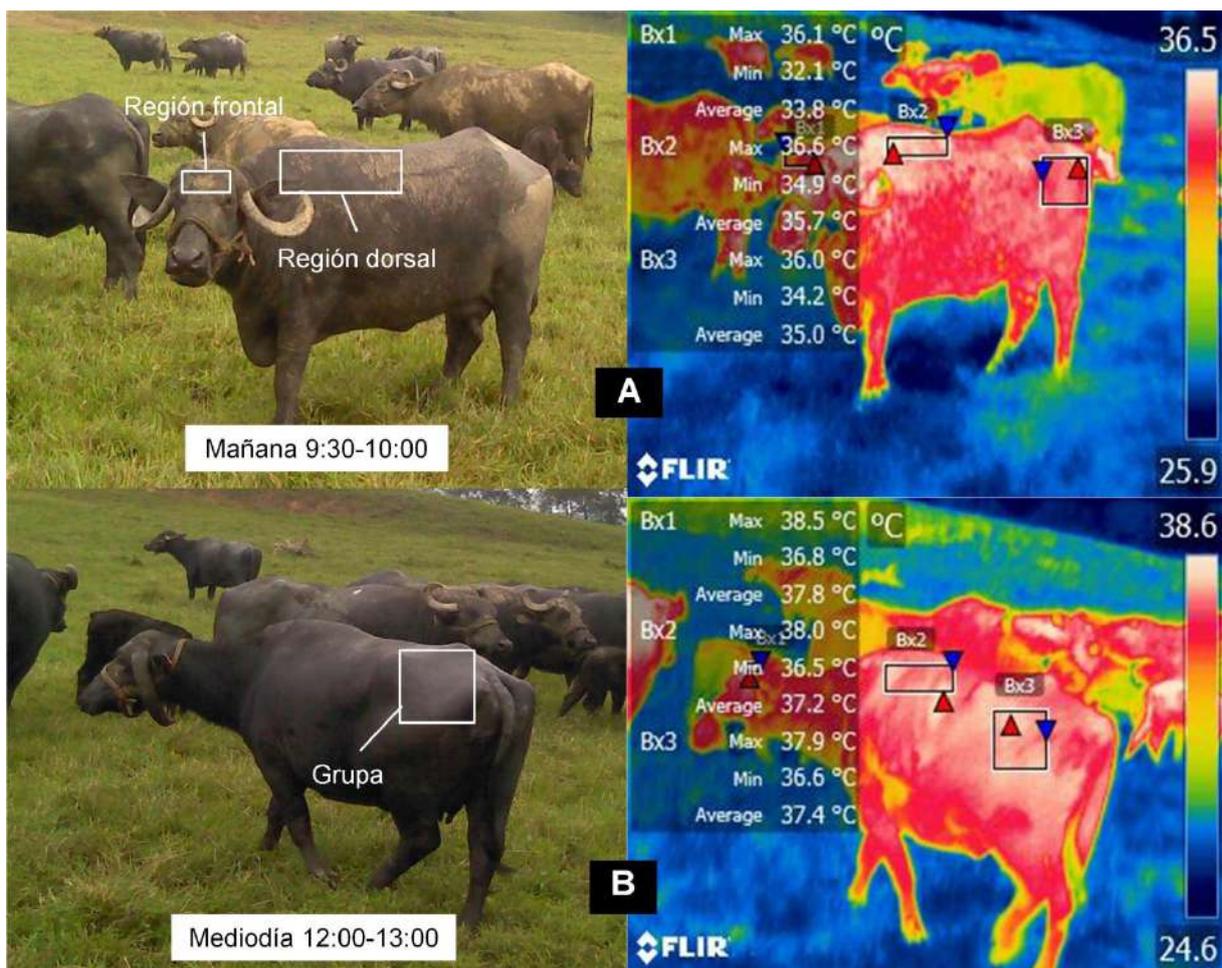
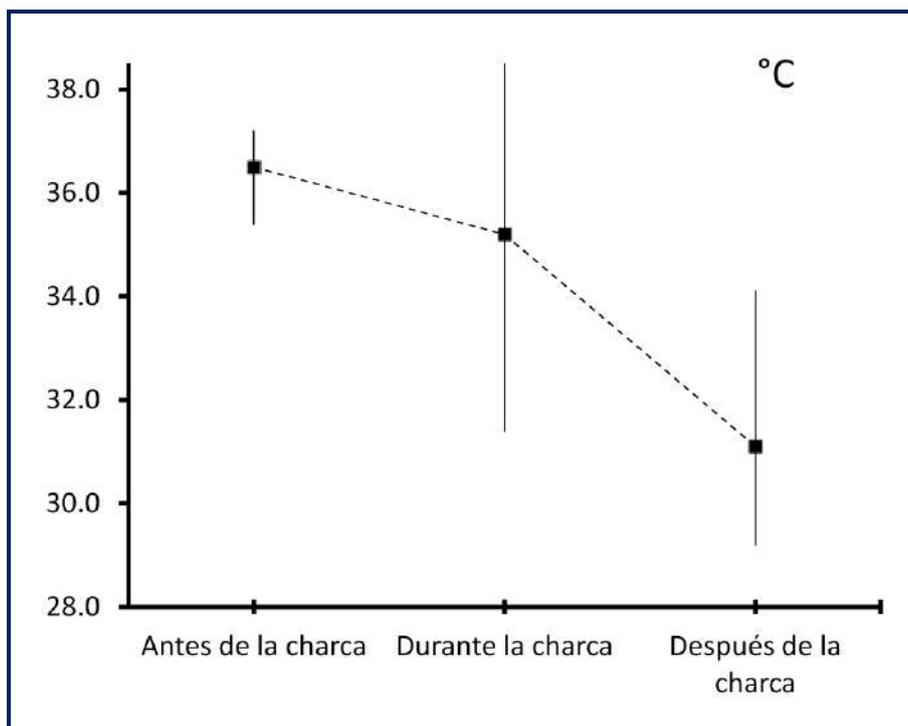


Figura 4. La importancia de la sombra natural bajo los árboles en el trópico húmedo



Figura 5. 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.

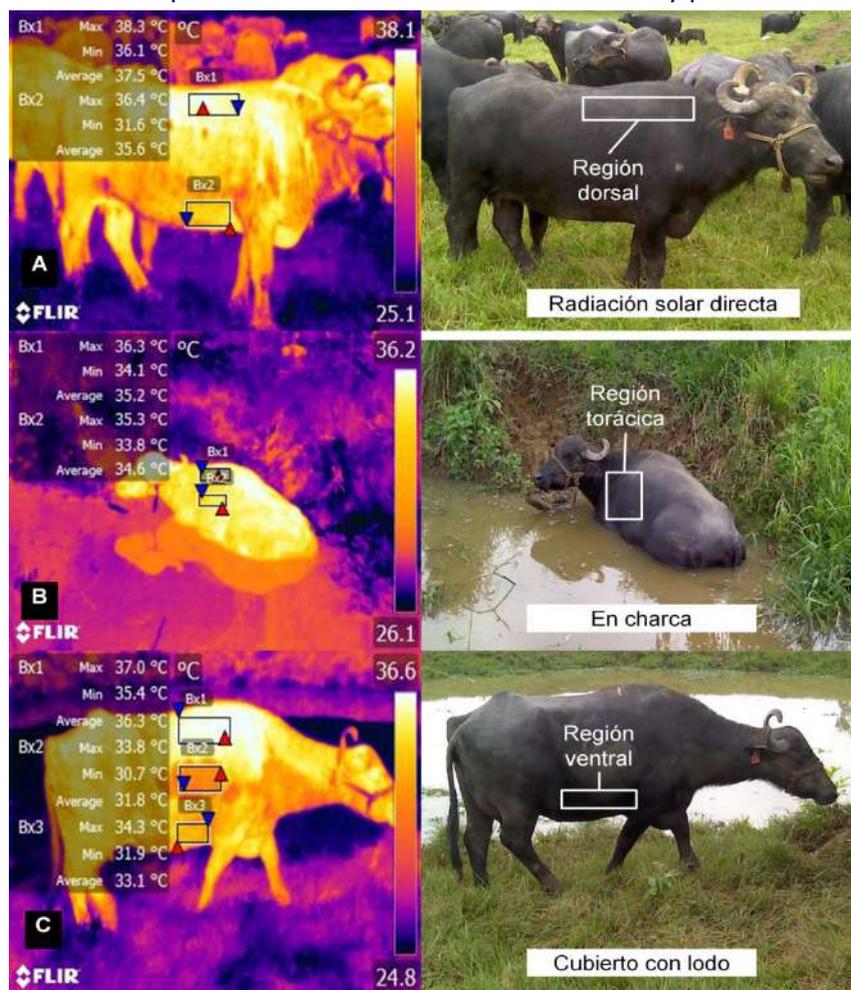


De igual forma, pruebas experimentales indican que, para mantener la homeotermia adecuada, el búfalo de agua debe contar con charcas o duchas en los meses de verano y estar protegido contra las corrientes de aire frío durante los meses de invierno (Marai y Haeeb, 2010). En la **Figura 5** se muestran 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 con barro. 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.

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.

Para evaluar el efecto de las charcas y el lodo en la respuesta térmica del búfalo de agua, revisar los termogramas de la **figura 6**.

Figura 6. 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).

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 a 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).

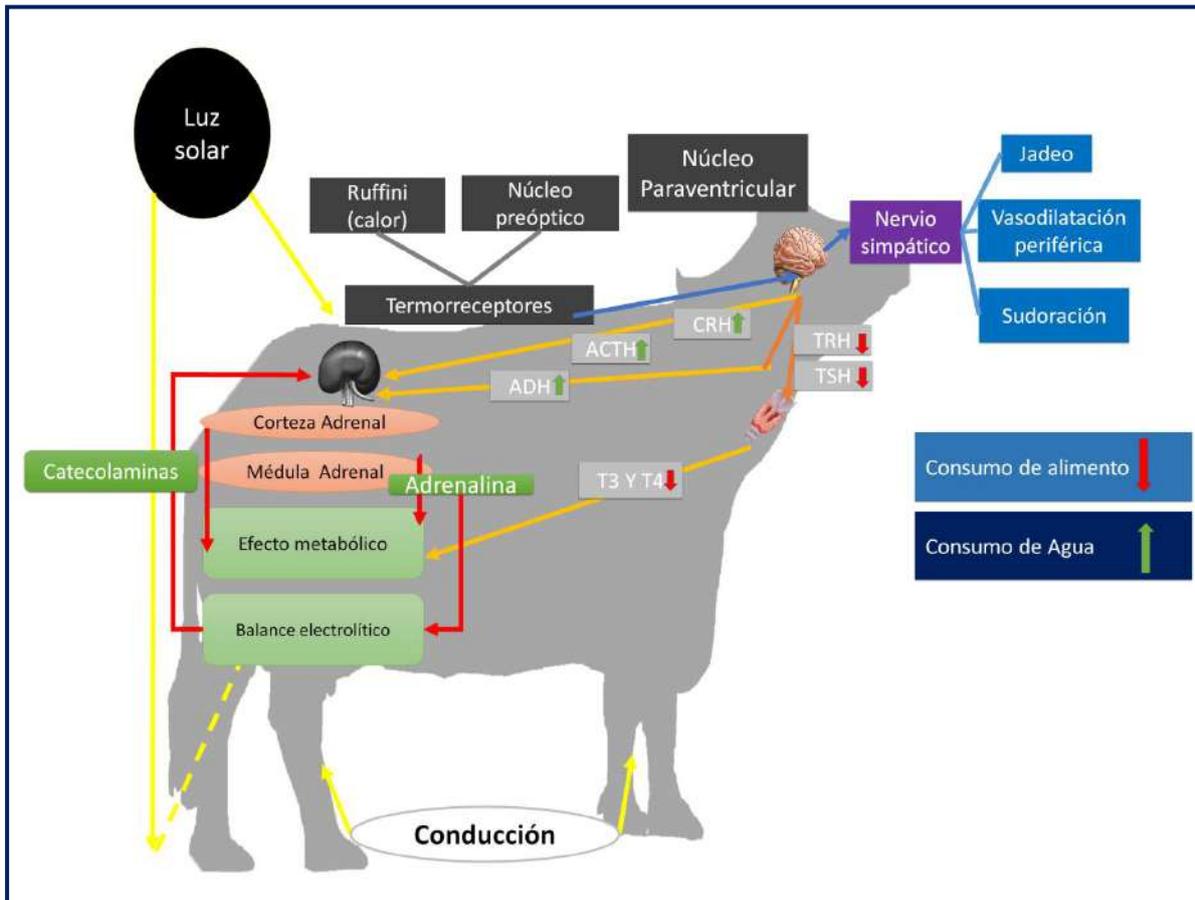
En los mamíferos las respuestas de tipo autónomo frente a estímulos de calor y frío se regulan a través de fibras simpáticas colinérgicas, en el caso de la sudoración, y por fibras simpáticas adrenérgicas, en el caso de la piloerección, la vasoconstricción y la vasodilatación (Ruiz et al., 2012).

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), 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 problemas reproductivos (Berdugo-Gutiérrez et al., 2018; Marai y Haebe, 2010; Mota-Rojas et al., 2019).

A manera esquemática, en la **figura 7** se muestra la respuesta fisiológica del búfalo de agua expuesto a estrés térmico.

Figura 7. Termorregulación del búfalo de agua como respuesta al aumento de temperatura. Una temperatura ambiental alta produce en el organismo del búfalo pérdida de calor por evaporación a través de la piel, y la vaporización respiratoria; mientras que una temperatura baja generará un aumento en el metabolismo.



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 eccrinas, 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, en estudios recientes se establece 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, productividad, crecimiento, apareamiento, 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, y choque térmico, 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 de calor a través de la vasodilatación y vasoconstricción. 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 clínica sin comprometer un buen nivel de bienestar animal, obteniendo como resultado aumento en la producción, 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., 2018. 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., Cruz, R., Mora Medina, P., Berdugo, J., 2019. 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/jappphysiol.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>
- Marai, I.F.M., Haebe, A.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/jappphysiol.01227.2010>
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., 2019. Dairy buffalo behaviour and

welfare from calving to milking. (UK).

<https://doi.org/10.1079/PAVSNR201914035>

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>

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>

Zheng kang, 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.

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

BM EDITORES, 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

Daniel Mota, Marcelo Daniel Ghezzi, Juliana Sarubbi, Fabio Napolitano, Nancy José, Ada Braghieri, Gabriela Marcela Martínez, Patricia Mora, Isabel Guerrero, Hugo Barrios y Julio Martínez-Burnes

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 de los animales que dependen no sólo de la heredabilidad sino del efecto de los factores medioambientales. Es sabido 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. 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) 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 reducida, baja velocidad del viento y elevada radiación solar, los cuales contribuyen a generar el denominado estrés por calor (Armstrong, 1994; Nidumolu et al., 2010).

De esta forma, la modificación de las condiciones bioclimáticas en el ambiente en donde se desarrollan los animales como el aumento de temperatura, la baja 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 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 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 Haebe, 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 Haebe, 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 engorda (*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).

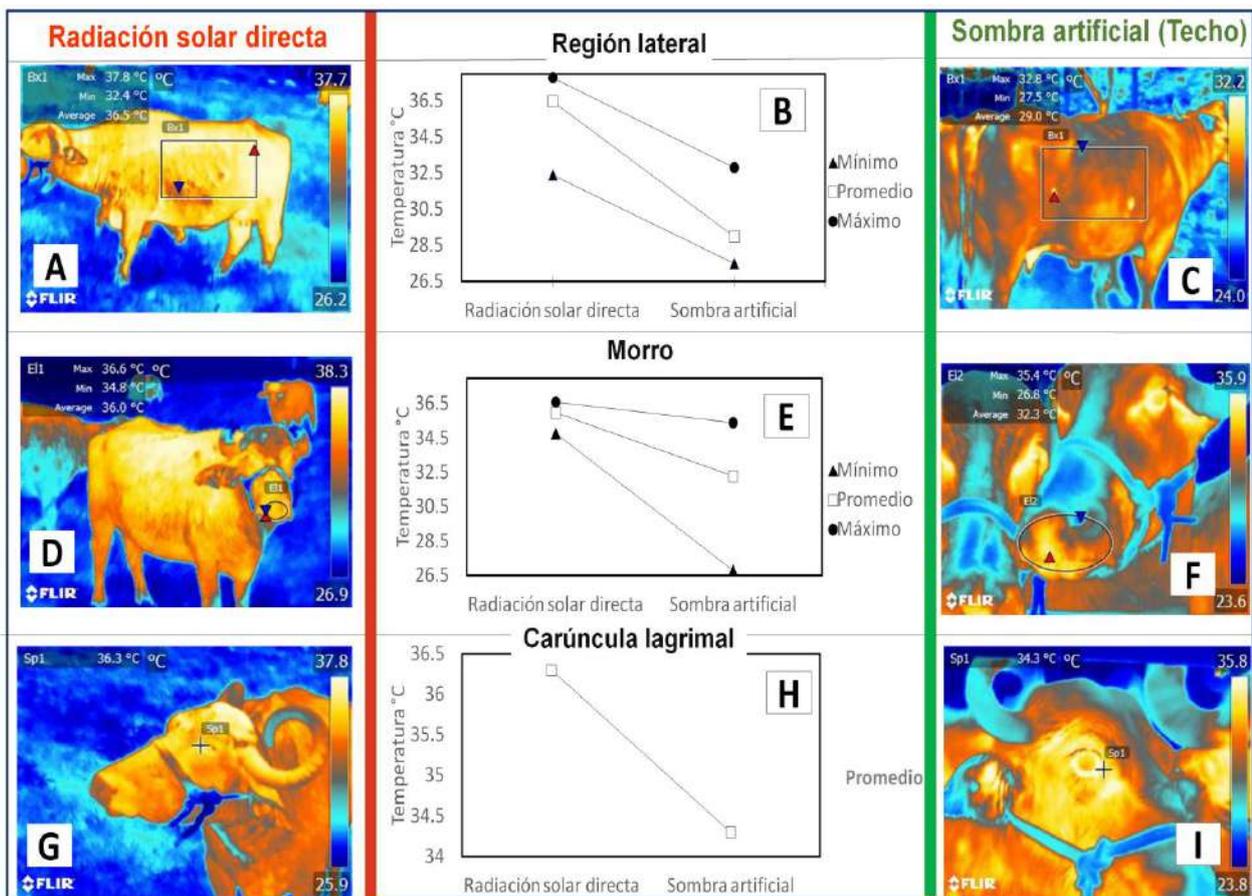
Estudios preliminares de los autores del presente capítulo (Bertoni et al., 2019), muestran la importancia de la sombra artificial en los cambios de la microcirculación del búfalo de agua en el trópico latinoamericano. Como se muestra en la **Figura 1**, hay un marcado contraste en la respuesta termográfica del búfalo de agua por efecto de la radiación solar *versus* 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 expuestos a sombra artificial, versus 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 versus sombra artificial, respectivamente. En la gráfica **H**, se indica como los búfalos 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 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 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.



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 (WpSCO 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 construidos 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).

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 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 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

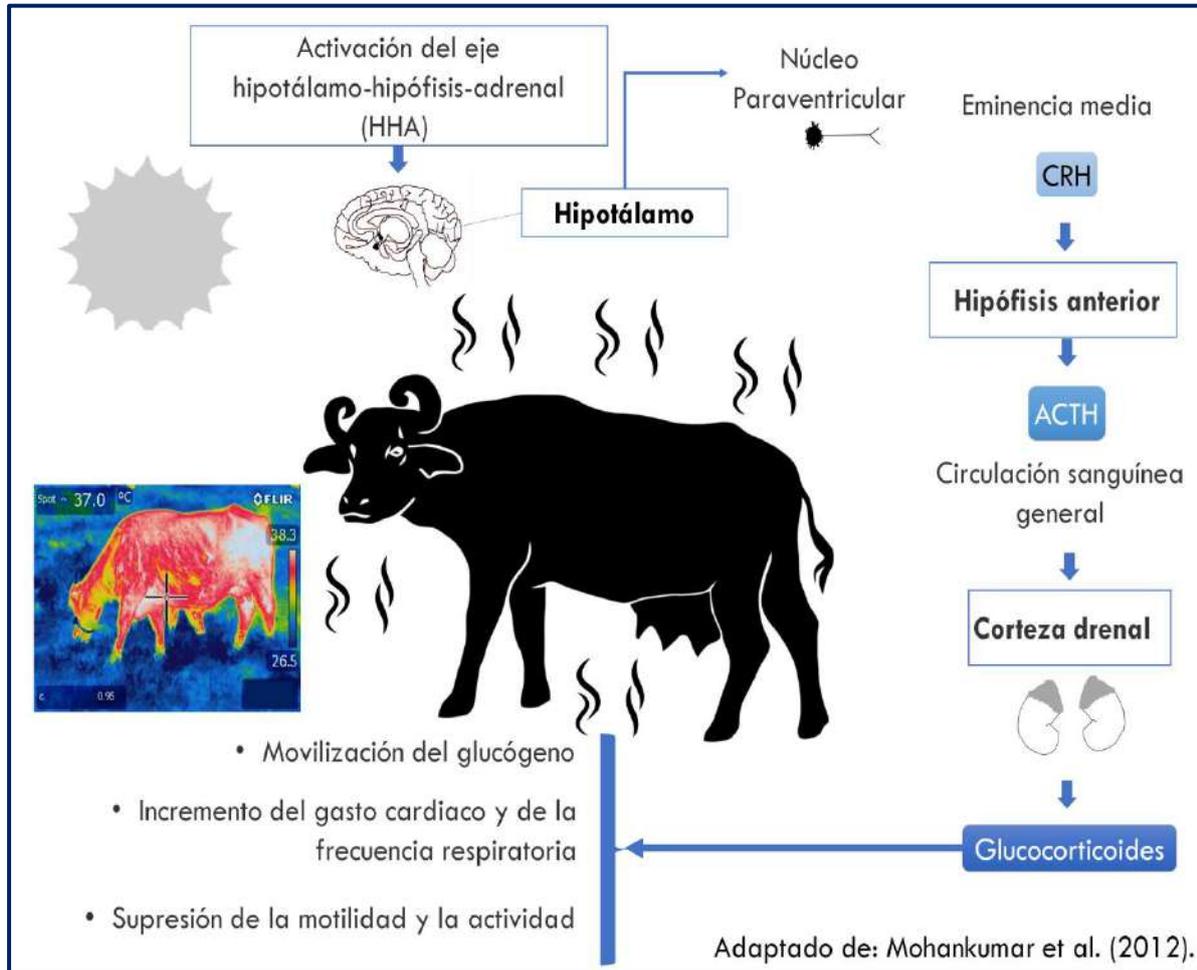
activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal, ejerce un efecto inhibitor sobre el eje hipotálamo-hipófisis-gonadal (HHG).

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 entre bacterias comensales y el sistema inmune yeyunal (Koch et al., 2019).

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 anomalías en los espermatozoides (Ahmad Para et al., 2018).

En este sentido Llamas Luñero et al. (2020), analizaron el espermatozoides 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 ($\frac{5}{8}$ Charolais \times $\frac{3}{8}$ Cebú) alojados 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 3).**

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, mediante la captura de imágenes entre 6:00 y 22:00 h del día, se registraron las temperaturas ambientales.

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 (Índice de Carga Calórica) (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 las novillas 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 3**).

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 (Pinto *et al.*, 2019). 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 $\text{THI} < 68$).

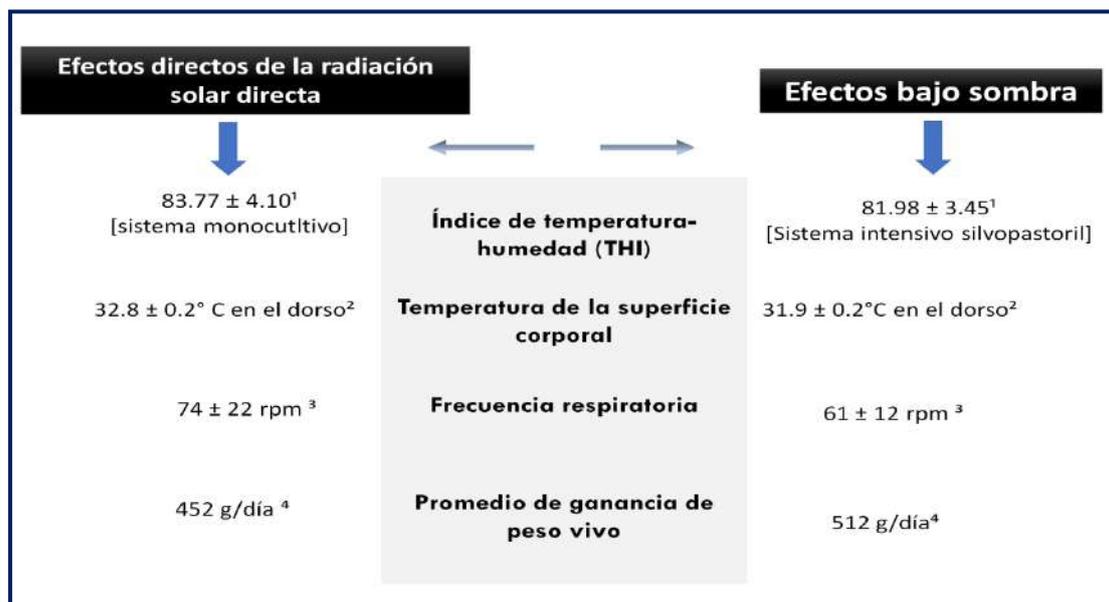
La explicación se atribuye a que los animales están más expuestos al mecanismo de convección por el viento o bien, a causa de la compresión del diafragma por el rumen y por tanto provocando la disminución en la capacidad respiratoria y la efectividad de la respiración. Además, se determinó que la frecuencia 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 ½ a ¾ Holstein × 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 3. 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 ITH ≥ 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 ($> 39,2$ °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 ITH 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 ITH 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 ITH 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 ITH 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 4**).

Otra investigación en la que se analizó el comportamiento ante el estrés calórico, contempló 24 vaquillas criollas (raza $3/4$ 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 ($\frac{1}{2}$ 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:

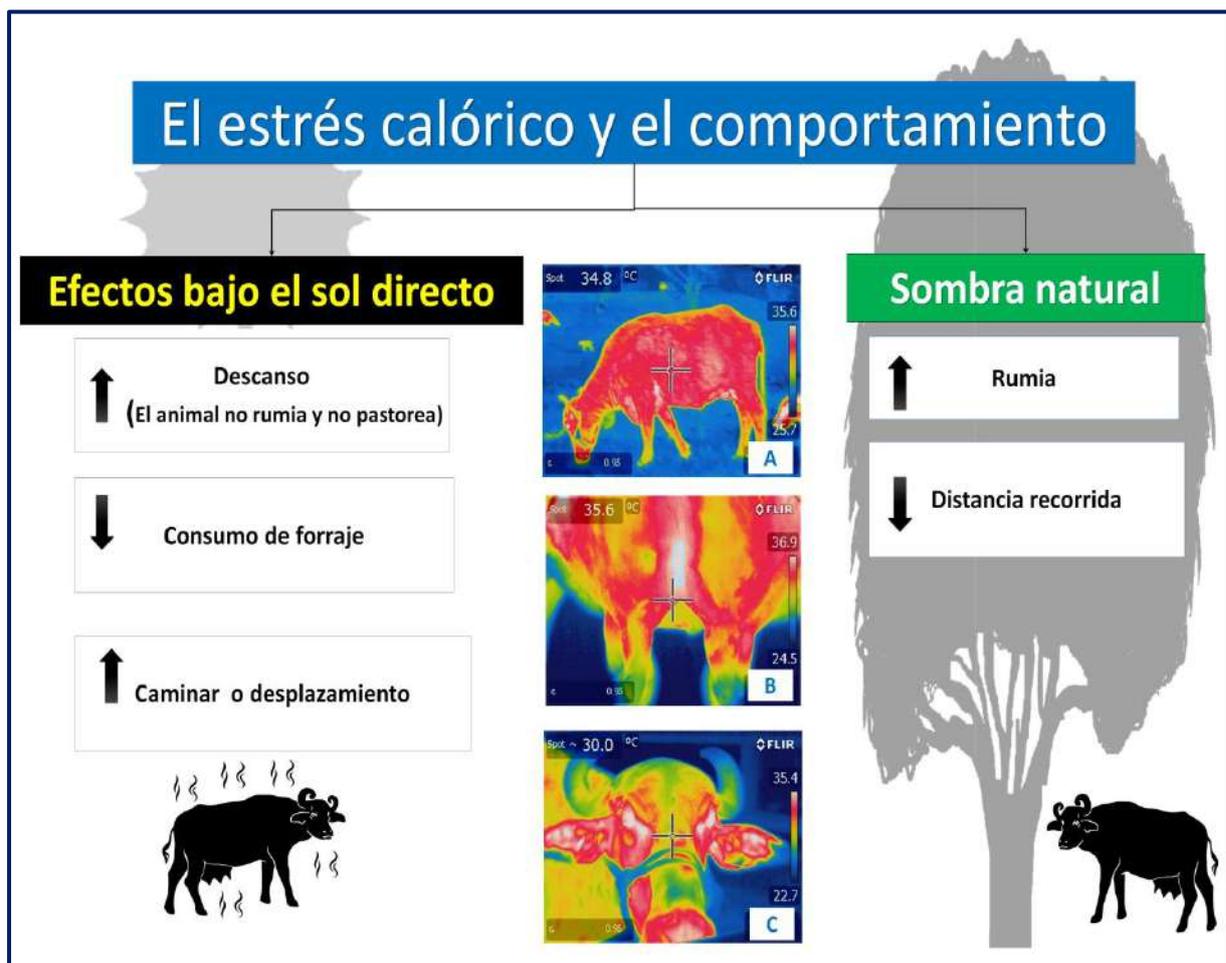
Pastoreo, siendo el tiempo dedicado a las etapas de selección y prehensión de forraje, masticación y deglución; rumia, definido como el tiempo dedicado a la ejecución de movimientos mandibulares, sin pastoreo; “Descanso” descrito como el acto ausente de pastoreo ni rumia. “Postura”: de pie o acostado, 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 4. Cambios de conducta ante la exposición directa al sol versus 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 novillas criollas Charolais. Los hallazgos indican que las vaquillas bajo la sombra mostraron un incremento de 11.3 kg/animal en el peso final de las novillas (565kg Vs. 554.2), asimismo, se observó mayor peso en la canal caliente (352.3 Vs. 345), mayor grado de rendimiento según la clasificación de 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).

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.

Comparación del THI bajo diferentes materiales en techo

Sujetos de estudio	Material	THI	Referencias
Bovino cruza de Indobrasil x Brahman	Lámina acanalada de acero	82.00 ± 3.09	(Khongdee , 2016)
	Lámina acanalada de acero con malla sombra (WPSC)	80.26 ± 3.02	
Vaquilla			
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	

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 / d vs 7.39 kg/d). 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 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 al100%, 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) 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), 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., Najjar, 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.
- 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>
- 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., Haeeb, A.A.M., 2010a. Buffalo's biological functions as affected by heat stress — A review. *Livest. Sci.* 127, 89-94
Marai, I.F., Haeeb, 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. *Revista Argentina de Producción Animal* 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 h, *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.
- 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)
- 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-Ferreyra, 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.

La huella ambiental de la producción pecuaria

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 18

La huella ambiental de la producción pecuaria

Patricia Mora, Daniel Mota, Adolfo Álvarez, Karla Flores, Brenda Reyes, Fabiola Torres, Aldo Bertoni, Rosy G. Cruz, Ramiro Ramírez e Isabel Guerrero

ANTECEDENTES

Las unidades de producción agropecuaria basan su funcionamiento en el aprovechamiento de recursos naturales como agua, suelo, vegetación y aire, para la generación de alimentos y materias primas para consumo animal y humano. Sin embargo, sus procesos de producción primaria e industrial suelen causar efectos ambientales (Molina-Benavides et al., 2016) por la perturbación de los ciclos hídricos, edáficos y atmosféricos. Un ejemplo de ello se ha ilustrado con la afectación de los ecosistemas por los cambios climáticos regionales y globales, principalmente el por incremento de la temperatura ambiental promedio. Por ello, el cambio climático puede ser una de las mayores expresiones de la perturbación antropogénica hacia los ecosistemas (Hegland et al., 2009).

El término “Cambio Climático” ha sido definido por la Convención de las Naciones Unidas como una modificación de las variables del clima, atribuible directa o indirectamente a la actividad humana (UN, 1992), particularmente por el incremento en la generación de gases de efecto invernadero (GEI)

(Crowley, 2000), que altera la composición de la atmósfera del planeta y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo equiparables (UN, 1992). Lo anterior, ha provocado fluctuaciones a largo plazo de la temperatura, las precipitaciones, los vientos y demás componentes del clima en la tierra. Estos efectos climatológicos representan una amenaza latente a la sostenibilidad de la producción de alimentos o hacia los bienes e integridad de las sociedades al conllevar un incremento del nivel del mar, con el riesgo de provocar inundaciones catastróficas en amplias zonas en diferentes partes del mundo, principalmente costeras (UN, 1992).

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). Esto no significa la omisión de otros gases contaminantes, pero éstos son los vigentes; incluso existen criterios de cálculo que no consideran a todos estos gases (Espíndola y Valderrama, 2011).

En este sentido, las emisiones de GEI más abundantes por la actividad humana son principalmente dióxido de carbono (CO_2), siendo el más influyente del cambio climático junto con otros elementos traza, seguido del metano (CH_4). Este último es el principal causante de la elevación de ozono en la tropósfera (O_3), que a su vez es el tercer causante más importante de GEI. Entre los gases que se emiten en menor concentración, sin dejar de ser importantes, se encuentran el óxido nitroso (N_2O) y el carbón negro ("hollín negro") (Hansen et al., 2007). Como se puede observar en el **Cuadro 1**. En cuanto al metano, sus principales fuentes de emisión son las actividades

agropecuarias y petroleras, así como la deposición de basura a cielo abierto, entre las más relevantes.

Cuadro 1. Causas del cambio climático

Actividad humana (Directa e Indirecta)	Gases de efecto invernadero (GEI)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dióxido de carbono CO₂ (Hansen et al., 2007). 2. Metano (CH₄): humedales naturales, campos de cultivo de arroz (Pathak y Wassmann, 2005); pozos petroleros y de gas (Moss et al., 2000); digestión de los rumiantes (fermentación entérica) (Lassey, 2007); quema de biomasa (incendio forestal) (Moss et al., 2000); vertederos de basura (Moss et al., 2000). 3. Ozono (O₃). Mediante las formas contaminantes: NO (NO + NO₂), CO (Wang et al., 2017). 4. Óxido nitroso (N₂O). Aplicación de fertilizantes en agrosistemas (Garzón y Cárdenas, 2013). 5. Carbón negro. Vehículos automotores, chimeneas de las plantas de carbón, refinerías de petróleo e incendios forestales y agrícolas (Jacobson, 2010).
--	-----------------------------------	---

Las implicaciones del cambio climático se vuelven en un ciclo continuo de afectaciones sobre la fenología, la abundancia local y diversidad, así como de la distribución a gran escala de plantas y polinizadores, muchos de los cuales también son necesarios para la producción de forrajes y alimentos para animales y humanos (Hegland et al., 2009).

Por todo lo anterior, el objetivo del presente capítulo es exponer los factores más relevantes de la interacción producción ganadera-cambio climático, enfatizando en la producción de excretas y gases de efecto invernadero, en

los usos del agua, así como de los recursos naturales y sus efectos sobre el medio ambiente. Además, se abordan los efectos del cambio climático sobre la producción animal, así como algunas de las principales medidas de mitigación.

DEMANDA DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA PARA LA POBLACIÓN HUMANA

En el 2011 se pronosticó el aumento de la población mundial de 7.2 a 9.6 billones para el 2050, lo que implicaría también enormes esfuerzos productivos para cubrir la demanda de alimentos, entre ellos los productos de origen animal (McLeod, 2011). Esto supone el incremento de la población animal destinada al abasto alimentario. 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 en el 2016 (Tubiello et al., 2013) una producción mundial de 330 millones de bovinos y búfalos de carne, 234 millones de vacas lecheras, 1.5 mil millones de cerdos, 65 mil millones de pollos, 7.6 mil millones de gallinas de postura y mil millones de cabras y ovejas (Tullo et al., 2019; FAOSTAT, 2020). Sin embargo, aun con estas proyecciones del incremento productivo, se ha observado una lamentable ineficiencia global de la ganadería para satisfacer a una creciente población y un consumo alimenticio tan desmedido como desigual.

Aunado a lo anterior, la producción agropecuaria se ha traducido en una insaciable explotación de los recursos naturales y en un grave deterioro de la calidad del aire, suelo y agua (Delgado et al., 2001; Tullo et al., 2019), que

asociado a un notable proceso de industrialización de la ganadería, han contribuido a acrecentar los graves problemas ambientales y en ocasiones a reducir el nivel de bienestar animal que compromete su desarrollo productivo (Tullo et al., 2019).

Cabe resaltar que en julio del año 2019, la OCDE y FAO publicaron las perspectivas alimentarias para el período de 2020 a 2029, valorando que el 85 % del crecimiento de la producción agrícola mundial en los próximos diez años provendrá de las mejoras en el rendimiento gracias a un uso más intensivo de los insumos, inversiones en tecnología de producción y mejores prácticas de cultivo. Una mayor intensificación del uso de la tierra mediante cosechas múltiples al año, representará otro 10 %, mientras que se prevé sólo el 5 % procederá de la ampliación de la superficie de cultivo. Es decir, se pronostica una mayor presión sobre los recursos naturales y el medio ambiente.

Para el mismo período se espera que la producción ganadera mundial crezca un 14 % gracias a los precios accesibles de los piensos y a la estabilidad de los precios de los productos. La carne de ave de corral sigue siendo el producto de mayor crecimiento y representa aproximadamente la mitad del incremento previsto en la producción total de carne. El aumento de la producción de carne de cerdo se concentrará en China.

De acuerdo a las proyecciones de producción, los mismos organismos indican un crecimiento de las emisiones directas de GEI del 6 % en comparación con el nivel actual. La ganadería representaría el 80 % de ese incremento. Se podría lograr una mayor reducción de la intensidad de carbono de la

producción agrícola mediante la adopción a gran escala de tecnologías de reducción de emisiones. Geográficamente, se prevé que la mayor parte del aumento de las emisiones directas se producirá en las regiones emergentes y de ingresos bajos debido a un mayor crecimiento de la producción derivada de los sistemas de productivos más contaminantes (OCDE-FAO, 2020).

PRODUCCIÓN PECUARIA Y GASES DE EFECTO INVERNADERO

El impacto negativo que los sistemas de producción animal provocan sobre el aire es uno de los más inquietantes debido a su efecto mundial (Herrero y Gil, 2008). Para el año 2005, el total de emisiones de GEI provenientes de las cadenas de suministro ganadero se estimó en 7,1 gigatoneladas de CO₂-eq por año. Este total representó el 14,5% de todas las emisiones antropogénicas según las estimaciones más recientes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), relativas al total de las emisiones por actividades humanas (49 gigatoneladas de CO₂-eq para el año 2004 (Gerber et al., 2013).

Los GEI en los sistemas de producción pecuaria son el resultado de la emisión por la fermentación entérica (CH₄), el manejo de estiércol (CH₄ y N₂O), el uso de fertilizantes nitrogenados (N₂O) para la producción de forrajes y el uso y abuso de combustibles fósiles y energía (CO₂). En este sentido, los rumiantes son las principales fuentes de emisión de metano al aire, por la vía digestiva (65.85 millones de toneladas de CH₄ por año) debido a su gran tamaño corporal y alta población (1,350 millones de cabezas), seguido del búfalo con 9.23 millones de toneladas de metano por año, cabras y ovejas con 9.44 millones y cerdos 1.11 millones de toneladas por año (FAO, 2006a)

Se añade a esta circunstancia el aumento descomunal de los desechos de la ganadería, que han alterado los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno, carbono y fósforo, lo que se ha concatenado para generar la más grave crisis ambiental del planeta. Lo anterior se ha acentuado por la alta proporción de metano liberado a la atmósfera debido al estiércol y al mal manejo del mismo. 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, 2006a; O'Mara, 2011).

Valorando el incremento de la población humana, a alrededor de 2.4 billones de habitantes para el año 2050, como lo ha estimado la FAO, implicaría el crecimiento acelerado de la producción de alimentos, a la par que supondría un ascenso del volumen de las emisiones de gases invernadero (Delgado et al., 2001). Pero para estimar el impacto de la producción pecuaria, Duarte da Silva et al. (2019) evaluaron la huella en el medio ambiente que causa un sistema de producción intensiva convencional de aves de engorda en el centro-oeste de Brasil durante su ciclo de vida completo (desde el día 1 de nacido hasta que se finaliza el ciclo, al día 50). En término de la emisión total de gases de efecto invernadero fue de 154 kg de dióxido de carbono (CO_2) eq por 1,000 kg de peso vivo producido (95 kg de CO_2 eq por N_2O indirecto, 30 kg de CO_2 eq por N_2O directo y 29 kg de CO_2 eq por metano) y estimaron que el potencial de calentamiento global en 100 años sería de 2.7 kg. Por otro lado, las regiones del planeta con mayor generación de CH_4 por la digestión animal a nivel global fueron Asia (33%), América Latina (23.9%), África

(14.5%), Europa Occidental (8.3%) y América de Norte (7,1%). Por otro lado, entre las regiones con mayor emisión de N_2O relacionado al manejo de las excretas destacaron Asia, América Central y del Sur, África Subsahariana, Europa Occidental, América del Norte y Europa del Este (FAO, 2006a; O'Mara, 2011).

Por su parte, 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, siendo mayor la emisión promedio de CH_4 (69%) que la energía bruta derivada de leche y carne de rumiantes (47.1%).

Otro elemento decisivo en el deterioro ambiental ha sido la deforestación, práctica que se ha llevado a cabo tanto para abrir zonas de pastoreo como para el cultivo de forrajes y satisfacer con ello la alimentación animal, que ha abonado con el 34% de la emisión de GEI (FAO, 2006a; O'Mara, 2011).

Otros estudios han documentado la diferencia en la emisión de metano entre sistemas de producción intensivos y extensivos (Herrero y Gil, 2008). Un caso se registró en Argentina para los sistemas pastoriles de novillos de raza británica, en el cual se cuantificaron emisiones de 58 a 64 kg de CH_4 por cabeza al año (SAyDS, 2007), mientras que en sistemas con alimentación suplementaria energético-proteica se estimaron 48 kg de CH_4 por cabeza al año (Nasca et al., 2005). Es decir, ambos sistemas producen metano, pero los

sistemas de pastoreo con alimentación suplementaria originan un menor volumen de emisiones.

Por otro lado, al analizar los sistemas extensivos de producción de leche, contra los sistemas estabulados, se obtuvieron 151 kg de CH_4 por hectárea y 29 g de CH_4 /kg de leche producida en el extensivo, mientras que en sistemas estabulados se calcularon emisiones de 185 kg de CH_4 por hectárea y 22.5 g de CH_4 /kg de leche producido. Lo anterior sugiere que las emisiones de metano por unidad de producto (leche) proporcionalmente disminuyen a medida que se intensifica la producción (Herrero y Gil, 2008). Sin embargo, los resultados deben ser tomados con cautela, debido a que en la mayoría en los que se comparan los sistemas productivos, toman como indicador el concepto de cantidad de GEI y no de eficiencia productiva, dado que no se incluyen las concentraciones de GEI emitidos desde la producción de forrajes (Reddy y Hodges, 2000) para la alimentación de los animales confinados, que se deberían sumar a los emisiones propias del mismo proceso primario así como las del transporte, procesamiento, empaque, distribución, venta al detalle, consumo e, incluso, hasta la gestión de los residuos (Pinos-Rodríguez et al., 2012).

A partir de las emisiones de estas sustancias volátiles, se ha acuñado el término de “Huella de Carbono” definida como la cantidad de gases efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción y consumo de bienes y servicios, que se considera es una herramienta valiosa para cuantificar estas emisiones de gases (Espíndola y Valderrama, 2011).

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 contó la generación de metano entérico y se adicionaron todas las actividades involucradas en los diferentes sistemas de producción 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.

Como se ha podido apreciar, el cambio climático derivado de la ganadería debe incluir los GEI generados por las unidades de producción agropecuaria (UPA) para una evaluación más precisa. De hecho, tanto clima como producción animal se influyen mutuamente de manera directa e indirectamente. En el caso del ganado, el clima incide regularmente de forma indirecta debido a que provoca cambios en la disponibilidad y calidad de alimentos, agua y energía disponibles (Rubio et al., 2017), condicionando las posibilidades de elevar la productividad de la ganadería, lo que puede acentuar los riesgos de inseguridad alimentaria en el mundo (Rojas-Downing et al., 2017). Ante ello, los animales han experimentado adaptaciones fisiológicas relacionados con el ambiente que regularmente derivan en un desperdicio de energía y pérdida de producción (Arias et al., 2008).

Sin embargo, no todos los GEI tienen la misma capacidad de inducir el calentamiento global, pero su intensidad depende del poder de radiación y del tiempo promedio que una molécula del gas permanece en la atmósfera. Por esta razón, es necesario tomar la información con precaución debido a que la acción de los GEI depende mucho del compuesto y de la cantidad que

se emite al ambiente. Por ejemplo la acción relativa de un gramo de un compuesto refrigerante carbonofluoroclorado (CFC13), de acuerdo con el protocolo de Montreal, produce un efecto invernadero de 14 mil veces mayor que el que se produce con un gramo de CO₂, que tiene un valor potencial de una unidad. Pero, si se compara la cantidad de CO₂ que se genera por actividad humana, el efecto es mucho mayor que la del resto de los gases. Por lo tanto, la contribución real del CO₂ al efecto invernadero resulta mayor, inclusive en mayor proporción que el metano (CH₄), sin embargo, este último tiene una vida media de 12 años y difiere grandemente en el potencial como GEI de 25 unidades en comparación con el CO₂ (Espíndola y Valderrama, 2011).

EFFECTO DE LOS GEI EMITIDOS POR LAS UPA

Los países tienen la obligación de notificar sus emisiones de GEI, en este sentido y según la base de datos EDGAR en Argentina, se han contabilizado las emisiones nacionales totales alcanzando los 368 Teragramos CO₂eq., representado por el sector energético con el 53% de las emisiones, mientras que la agricultura, ganadería y cambios de uso del suelo ocupan el segundo lugar con 39%, seguido de los procesos industriales y residuos con 4% en cada caso (Puliafito et al., 2020).

Como se ha podido apreciar, el deterioro de la calidad del aire provocado por la ganadería y su emisión de gases de efecto invernadero (GEI) es importante. Dentro de estos gases destacan, en orden de impacto, el metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y dióxido de carbono (CO₂). Esta emisión se atribuye a los eslabones de producción, procesamiento y transporte de alimentos en el del

45% del volumen total, mientras que la segunda en relevancia está representada por la fermentación entérica de los rumiantes, que coadyuva con el 39% de las emisiones (Gerber et al., 2013).

De acuerdo con lo reportado por Gerber et al. (2013), del 14.5% total de emisiones de GEI, el ganado de carne representa el mayor porcentaje de emisiones con el 41%, mientras que el ganado de leche, el de cerdo para carne y las aves para carne y huevo participante con la parte sobrante con 20%, 9% y 8% de forma respectiva, de las emisiones globales. De hecho, el ineficiente proceso de producción de los rumiantes debido en parte a las características anatómicas y fisiológicas de su sistema digestivo, los sitúa como la especie con mayor incidencia hacia el medio ambiente (Steinfeld y Gerber, 2010).

En otro estudio reciente, Puliafito et al. (2020), con el fin de evaluar las incertidumbres de los mapas de emisiones, bajo una distribución geográfica de alta resolución ($0.025^{\circ} \times 0.025^{\circ}$) de emisiones atmosféricas de los GEI (CH_4 , CO_2 , N_2O), y otros contaminantes que afectan la calidad del aire provenientes de la producción agrícola, ganadera y sectores de quema de biomasa, compararon el inventario de emisiones de metano disponible en la base de datos EDGAR (v4.3.2, año 2015) en Argentina y con ayuda del espectrómetro de absorción de imágenes de barrido para cartografía atmosférica, a bordo de ENVISAT durante 2009 a 2015.

La actividad con mayores emisiones fue la producción de carne de bovino contribuyendo con el 77,7% de las emisiones (77,366 Tg CO_2eq), seguido de la producción lechera de vacuno con el 10.7% (10.672 Tg CO_2eq) y,

finalmente, sumando el 11,6% (11,562 Tg CO₂eq) las otras especies pecuarias.

Estas emisiones de GEI alteran los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno lo cual repercute en una profunda degradación de la calidad del aire. De hecho, en lo que respecta a este elemento en específico, existen dos factores principales que favorecen al aumento del volumen de emisiones agrícolas de amoníaco, destacando por un lado el consumo desmedido de energía y, por otro, la demanda de forrajes para mantener al creciente inventario animal (Viney et al., 2001).

El amoníaco NH₃ es liberado a la atmósfera, en su mayoría, durante el almacenamiento y procesamiento del estiércol (Gerber et al., 2013). El NH₃ se transporta a la atmósfera, se transforma químicamente en aerosoles inorgánicos no gaseosos secundarios tales como nitrato de amonio y sulfato de amonio y es eliminado de la atmósfera por deposición seca y húmeda (Schauberger et al., 2018). Las emisiones de amoníaco (NH₃) contribuyen en la formación de partículas secundarias (PM) y ozono troposférico, los cuales resultan nocivos para la salud humana, propiciando mayor incidencia de trastornos cardiopulmonares. Lo relevante en cuanto a este compuesto, son las formas reducidas de NH₃ que reaccionan con especies ácidas, formando otros agregados que son depositados en la superficie de la tierra e inician la formación de gases de efecto invernadero (Viney et al., 2001; Putaud, 2010). Además, el amoníaco desempeña un papel crucial en la acidificación y eutrofización de los ecosistemas, y contribuye a las emisiones indirectas de óxido nitroso (Schauberger et al., 2018).

Por las emisiones totales por parte de la ganadería se reportó en 2015 una incidencia alta de amoniaco (NH_3), dado el manejo del estiércol coadyuva con el 41% de las emisiones agrícolas con respecto a los gases con impacto en la calidad del aire (Leip et al., 2015). Al igual que en los gases de efecto invernadero, las emisiones de NH_3 son emanadas principalmente por el ganado vacuno, ya que éste aporta el 53% del amoniaco atmosférico, seguido de los cerdos y las aves de corral con 25% y 15%, de forma respectiva (Tullo et al., 2019).

En ese sentido, Schauberger et al. (2018), mediante una simulación del clima interior de una nave de 1,800 cerdos de engorda, calculó la modificación del olor y la emisión de amoniaco para el período comprendido entre 1981 y 2017. En sus hallazgos se determinó un incremento relativo de 0,16% anual de amoniaco, pero siguiendo la estrategia de mantener el aire limpio (Canziani y Mielinicki, 2007) entre 1990 y 2015, estimaron que las máximas emisiones se redujeron 23% (Schauberger et al., 2018).

Asimismo, en las propias unidades productivas, se observa afectación en la salud de las poblaciones animales. De acuerdo con los datos obtenidos por Seedorf y Hartung (1999), en una encuesta sobre concentraciones de amoniaco en instalaciones ganaderas, se determinó que las altas concentraciones de NH_3 suscitan efectos nocivos en la salud y el bienestar animal, debido a que irritan las mucosas y se predispone a afecciones respiratorias secundarias en los animales (Koerkamp et al., 1998). De ahí la importancia de promover acciones para mantener niveles bajos de emisión de este compuesto (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentración de amoníaco dentro de las unidades de producción pecuaria

Especie animal	Valor límite de umbral de amoníaco de 15 ppm	Valor umbral de 25 ppm
Aves	Gallinas de postura (n = 8) 2.7 ppm. Pollos de engorde (n = 8) 21.2 ppm.	5 y 30 ppm en pollo de engorda
Bovinos	3.7 ppm para terneros (n = 16), 4.,7 ppm en ganado de carne (n = 10) 6.4 ppm en establos de ganado lechero (n = 8).	Menos de 8 ppm en establos bovinos.
Cerdos	Ganado porcino de engorde (n = 8). 15.9 ppm Cerdas (n = 16), 13.4 ppm Destete (n = 8) , 9,1 ppm.	5 y 18 ppm en cerdos
Metodología de evaluación	Evaluación realizada durante 24 horas. (Seedorf y Hartung,1999)	Evaluación realizada durante 24 horas durante verano e invierno (Koerkamp et al., 1998)

Finalmente, para determinar la cantidad de GEI que se emana de la ganadería, Espíndola-Valderrama et al. (2011) simularon una producción de vacas productoras de leche y calcularon las emisiones mensuales de CH₄ y N₂O en cada una de las etapas del ciclo productivo de los vientres. De esta forma, determinaron que los mayores emisiones de GEI correspondieron a las vacas en ordeña durante los tres tercios de lactación con 6.72 Kg/mes de CH₄ entérico; vacas primerizas durante los tres tercios de lactación con 0.2 Kg/mes CH₄ liberado por excretas y con 0.15 y 0.14 kg/mes, respectivamente de N₂O.

Ante todos estos efectos de la ganadería, la sociedad está empezando a manifestar su preocupación por la emisión de GEI, tal como lo reportaron

Grunet et al., (2018), quienes encuestaron a consumidores de cerdo, 1,007 alemanes y 988 polacos de entre 49 y 52 años de edad para conocer los criterios que priorizan al seleccionar productos de origen animal. De sus exploraciones reportaron que de los entrevistados sólo el 3% de los alemanes y el 1.1% de los polacos consideraron la huella de carbono cero entre los aspectos importantes en su preferencia, mientras que los rubros con mayor porcentaje fueron inocuidad alimentaria con el 49.4% y el bienestar animal (movilidad libre para la cerda) con 41.5%.

En la actualidad se averiguan alternativas para regular las emisiones de GEI a través de protocolos internacionales; de igual forma se busca indagar a profundidad los procesos que favorecen el deterioro de la calidad de aire y, finalmente, evitar la cadena de sucesos con impacto ambiental provocados por el deficiente y/o excesivo aprovechamiento de los nutrientes esenciales para la producción animal (Gerber et al., 2013; Tullo et al., 2019).

EFFECTOS EN EL SUELO POR EL CAMBIO CLIMÁTICO

Los efectos del cambio climático por parte de los sistemas de producción se reflejan en distintas variables climáticas claves para el desarrollo agropecuario como: precipitación, temperatura y estado del suelo, entre otras, las cuales a su vez generan impacto directo en la producción agrícola y animal (Altieri y Nicholls, 2009). Un ejemplo de esta dinámica se aprecia en la alternancia de períodos con aumento de precipitación pluvial y otros que en que se reduce drásticamente, generando en climas húmedos daños a los cultivos por inundaciones, erosión y salinización del suelo (Cline, 2007); en ecosistemas áridos y semiáridos, por efectos de sequías y calor excesivo se

limita el crecimiento y rendimiento de 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 en vegetación y en la microbiota del suelo (Swingland, 2001). La presencia de estos eventos son específicos y variados de una región a otra, pero hasta ahora los países del sur y los que se ubican en torno al ecuador han sido los más trastornados (Altieri y Nicholls, 2009).

La relación que existe entre estas variables climáticas y la alteración excesiva de una de ellas suelen repercutir en todo el desarrollo de los sistemas agropecuarios. Se estima que para el año 2050, la demanda de productos ganaderos se duplique (Rojas-Downing et al., 2017) pero la producción se encontrará limitada por las variables climatológicas y el daño ambiental, perturbando la disponibilidad de alimentos y, por ende, elevando el riesgo de inseguridad alimentaria (Reddy et al., 2000), ya que si estos fenómenos adversos continúan, alrededor de un tercio de la cosecha mundial de cereales que se destina a la alimentación del ganado se verá comprometida. En 2009, el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI), subrayó que, aunque en primera instancia el ganado no se ve afectado directamente por el cambio climático en el modelo IMPACT, los efectos del aumento de precios del forraje causados por el cambio climático se transmitirán a la ganadería, propiciando el incremento de precios de la carne, leche y otros derivados, con la consiguiente falta de acceso para amplias capas sociales. Por ejemplo, los precios de la carne de vacuno hacia 2050 serían 33 por ciento mayores sin cambio climático y 60 por ciento con el mismo.

Mientras tanto, el sector ganadero en aras de sostener su ritmo de crecimiento todavía coloniza ecosistemas frágiles para abrir nuevas zonas de agostadero y de cultivo donde los productores muy posiblemente volverán a agotar los recursos suelo y vegetación y con rendimientos decrecientes, especialmente en ausencia de un cambio significativo del modelo tecnológico dominante. De este modo, se pueden magnificar la degradación de ecosistemas complejos como bosques y selvas para acentuar el proceso de *ganaderización*, como viene ocurriendo desde la década de 1850 (Goldewijk y Battjes, 1997). Por ello, se ha llegado al grado en donde aproximadamente el 38,5% de la superficie terrestre mundial total se dedica a la agricultura para alimentación humana, mientras que las de cultivo forrajero, praderas permanentes y pastos, representan el 68,4% del total (Kumari et al., 2019). Por ende, la creciente demanda de productos pecuarios ha modificado el paisaje natural de manera excepcional y ha llevado a un deterioro extremo las propiedades biológicas, químicas y físicas de los ecosistemas (Steinfeld et al., 2006).

Aunado a lo anterior, el creciente cambio de uso de suelo afecta directamente el ciclo natural del carbono, liberando grandes cantidades de éste a la atmósfera, debido a que el mismo suelo y la vegetación sobresalen entre los principales responsables de secuestrar la mayor parte del carbono terrestre (Sundquist, 1993; Steinfeld et al., 2006).

En ese marco, Jones y Thornton (2003) han previsto una reducción total del 10% en la producción del maíz en el año 2055 en África y América Latina, equivalente a pérdidas de US\$2 mil millones por año, afectando

principalmente a 40 millones de agricultores pobres en diferentes zonas de América Latina y a 130 millones en África sub-Sahariana, como consecuencia del incremento en las temperaturas y de los trastornos en los ciclos de precipitación.

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 si 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) cuando son consumidos por las poblaciones humana y animal (Powers, 2009). Ante estos hechos, es importante investigar sobre las concentraciones de estos elementos contaminantes e implementar acciones para evitar que saturen la cantidad absorbible por el suelo (Nahm 2003; Pinos-Rodríguez et al., 2012).

La sobrecarga de nutrientes en el suelo derivados de los sistemas pecuarios intensivos y extensivos también ocasionan su infiltración por escurrimiento y lixiviación que terminan 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 capacidad para intoxicar al ganado (Nicholson et al., 2005).

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 vegetales, especialmente de las plantas útiles, como las forrajeras. Asimismo, cuando los ganaderos no tienen la previsión de estimar adecuadamente las cargas animales es recurrente observar sobrecargas y se provoca eliminación de la cobertura vegetal y dejar el suelo desnudo con los consecuentes efectos erosivos por acción del viento y del agua. Estas repercusiones son visibles en todo tipo de ecosistemas, pero especialmente en zonas áridas y semiáridas donde la vegetación es escasa y los suelos frágiles frente a la erosión (De la Orden et al., 2005).

EFFECTO DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN EL AGUA

El sector pecuario ha sido señalado en reiteradas ocasiones como uno de los grandes consumidores de agua en el mundo, llegando en ciertas regiones del planeta a sobre-explotar las fuentes de abastecimiento.

Se ha cuantificado que valores superiores al 8% son utilizadas con este fin y una alta proporción de ella se consume en la producción forrajera o en la irrigación de cultivos destinados al ganado. Por ejemplo, una vaca durante toda su vida, desde el nacimiento hasta el sacrificio para el abasto (aproximadamente 7.5 años o 91 meses), produce 5879 kg de leche en

cuatro lactancias, pero emite al ambiente 16.066 kg CO₂eq, además de utilizar 12.804.569 L de agua (Molina-Benavides et al., 2016).

Por supuesto, se trata de cifras muy elevadas en comparación con el 1% del agua global empleada para los procesos de producción, consumo y servicios (Molina-Benavides et al., 2016).

Otra problemática que surge es que el uso del agua se combina con residuos que la contaminan, es decir, se deteriora de forma apreciable su calidad física, química y microbiológica (Custodio et al., 1983; Herrero et al., 2003; Herrero et al., 2008). Por ello, resulta vital tomar conciencia de la dinámica del agua en las granjas de producción en diferentes momentos y sus inevitables efectos contaminantes.

Uno de los principales contaminantes del agua en las UPA es su mezcla durante la disposición final de las excretas, que contaminan las aguas superficiales y los mantos freáticos. Como se ha expuesto, las excretas de los animales contienen nitrógeno, fósforo y amoníaco, entre otros, aunque las cantidades acumuladas dependen del tipo de sistema de producción, del tipo de suelo y del grado de descomposición de los residuos (IPCC, 2001; IPCC, 2006; Pinos-Rodríguez et al., 2012).

Cantidades abundantes de nitrógeno en las excretas suele contaminar aguas subterráneas por la lixiviación de nitrato a través del suelo, mientras que el fósforo del estiércol se relaciona más directamente con la polución de aguas superficiales (Miller, 2001; Reddy and Hodges et al., 1999).

La contaminación del agua por excretas ganaderas puede darse directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda de los residuos de las granjas, e indirectamente por escorrentías y flujos superficiales desde áreas de confinamiento, de pastoreo y tierras de cultivo (EPA, 2006; Pinos-Rodríguez et al., 2012).

En general, los sistemas intensivos de producción animal producen más estiércol del que se puede usar como fertilizante en las tierras de cultivo cercanas (Thorne, 2007). Es en este escenario cuando el uso de las excretas como fertilizante puede afectar el agua de forma directa. Ejemplo de ello ocurre cuando los desechos de la producción avícola y porcina son usados en el suelo como fertilizante o descargados en aguas superficiales (lagos, lagunas, humedales) como desecho, ya sea en zonas cercanas a las granjas e, incluso, a grandes de distancia, ya que los sistemas receptores como ríos y mares se pueden generar zonas acuáticas muertas (Silbergeld, 2019), ya que el exceso de abono en la superficie de estos cuerpos de agua generan vegetación acuática que colapsa la vida preexistente y, además, hacen de forma casi inmediata imposible el aprovechamiento de este vital líquido.

En este mismo sentido, las excretas en la producción avícola provocan el mayor impacto ambiental, ya que contienen gran cantidad de nitrógeno dado el alto contenido proteico de su dieta, acentuando los procesos de nitrificación y desnitrificación (Von Bobrutski et al., 2011).

En este caso, las excretas avícolas, de forma similar que los residuos agrícolas incorporados como fertilizante, elevan la concentración de emisiones de amoníaco (NH_3), óxido nitroso (N_2O) y otros gases reactivos que contienen.

Una de las secuelas asociadas con concentraciones excesivas de nitrógeno es la contaminación del agua potable por nitratos y la eutrofización de cuerpos de agua superficiales (Edwards y Daniel, 1992; Leinonen et al., 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 CO_2 y e insuficiencia de O_2 , lo que también puede ocasionar serios problemas sanitarios. En 2005, se realizó un estudio en cuatro sitios del Lago Titikaka (Bolivia) donde se analizó y comparó la calidad de agua. Se encontró que la región Bahía Cohana, donde se realizaba la cría intensiva de ganado, los gradientes de contaminación y eutrofización eran más severos con respecto a otros tres puntos de muestreo en el lago (Fontúrbel, 2005).

En otro aspecto, en forma normal, la concentración natural de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas es baja (1 a 5 ppm), pero la industria ganadera puede degradar la calidad del agua para beber, comprometiendo la salud humana en caso de que se consuma. En los hallazgos de un estudio realizado en Estados Unidos se detectó un nivel de nitratos de 30 ppm en un arroyo cercano a un criadero de cerdos (Stone et al., 1995; Herrero et al., 2008), con repercusiones para la salud humana, ya que ingerir agua con niveles elevados de nitratos se mina la capacidad de transporte de oxígeno por la sangre (metahemoglobinemia o enfermedad de los bebés azules).

En otro estudio realizado en 2008, analizando 409 contenedores de agua de las principales cuencas lecheras de la Región Pampeana (Argentina), se demostró que los valores medios de nitratos superaban 45 ppm, por lo cual, del 26 al 66% de las muestras de agua resultó no apta para consumo humano (Herrero et al., 2008).

Cabe destacar que en la industria de bovinos lecheros esta derivación resulta más grave aún, ya que al lavar los sistemas de ordeño y los tanques enfriadores con agua contaminada podría además, deteriorar la calidad de la leche obtenida, que también atenta contra la salud de humana por esta fuente de nitratos (Iramain et al., 2005; Herrero et al., 2008).

En cuanto al fósforo, una vez que es vertido directamente en las corrientes de agua también estimula el proceso de eutrofización, afectando la calidad del agua y generando un impacto ambiental negativo en los recursos hídricos (EPA, 2000).

Esta práctica ha suscitado que muchos cuerpos de agua se degraden, algunos hasta su *muerte biológica*, ya que el desarrollo de algas y otra vegetación acuática absorben todo el oxígeno disuelto en el agua y cuando los ejemplares mueren se generan altas concentraciones de CO₂, de tal suerte que hacen prácticamente imposible la supervivencia de peces y otras especies acuáticas.

Es importante considerar que además del nitrógeno y el fósforo, pueden estar presentes otros contaminantes en el agua, como metales pesados (Brumm, 2002), microorganismos patógenos (Nicholson et al., 2005),

hormonas y fármacos de uso veterinario (Jjemba, 2003), siendo estos últimos los más difíciles de eliminar.

En lo que respecta a los metales pesados en aguas superficiales pueden incorporarse mediante lixiviación al agua subterránea. Un estudio en Argentina se reportó el hallazgo de más de 10 ppb de cobre (Cu) en aguas subterráneas en la zona de corrales de un sistema pastoril de ganado bovino, en comparación con el agua de un lote agrícola no pastoreado por ganado, en la que este metal estuvo ausente (Andriulo et al., 2003).

Por otro lado, los desechos animales de las granjas de producción contienen diferentes tipos de contaminantes de tipo biológicos como microorganismos (enterococos y estreptococos fecales, además de parásitos) que pueden llegar también a las aguas superficiales y subterráneas, amenazando la salud de humano y animales, en especial cuando se bebe agua sin potabilizar. Ejemplo de ello se mostró en áreas rurales de Argentina donde el 70% de los pozos de agua como fuente de abastecimiento en las instalaciones de ordeño presentaron diversas contaminaciones de origen microbiano (Herrero et al., 2002).

Finalmente, también se han detectado sustancias químicas contaminantes, tal es el caso de los residuos de fármacos y de hormonas de uso veterinario en 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 suelo y

agua (Boxall et al., 2004; Kümmerer, 2004). Estudios sobre cepas aisladas de *Escherichia coli* de lagunas de efluentes de corrales (combinación de heces, orina, barro, restos de leche y aguas pluviales) de cuencas lecheras en Argentina registraron que casi 95% de las cepas presentaron resistencia a neomicina, más de 40% a la ampicilina, más de 60% a cefalotina, 26% a tetraciclina y casi 5% a gentamicina (Herrero, 2008). En 2005 se detectaron por primera vez residuos de sulfametazina (0.14 ppb) en agua subterránea a más de un metro de profundidad de suelos arenosos que habían recibido deyecciones frecuentes de estiércol (Hamscher et al., 2005). De igual modo, se han hallado hormonas endógenas (andrógenos y estrógenos) en lagunas y aguas superficiales donde se depositan efluentes de corrales (combinación de heces, orina, barro, restos y aguas pluviales) provenientes de granjas piscícolas (Kolodziej et al., 2004; FAO, 2005a; FAO, 2005b).

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 granjas o circundantes a las mismas. Sin embargo, también se observan regiones del mundo en donde la regulación y vigilancia gubernamental concerniente al uso y manejo de excretas animales es escasa y/o confusa y sólo se especifican ciertas normas sobre descargas de contaminantes al agua, pero se ha omitido la trascendencia de las emisiones a la atmósfera y al suelo, como se ha develado en algunos países latinoamericanos (Pinos-Rodríguez et al., 2012).

Otro problema relevante por atender en las UPA corresponde al volumen de los recursos hídricos utilizados. Se han estimado las cantidades de agua que se invierte en la producción de alimentos de origen animal.

En ese sentido, los consumos de agua han sido exagerados e imposibles de sostener en el futuro. Por otro lado, la cantidad de agua requerida para producir un litro o kilogramo de alimento se muestra en el **Cuadro 3**, en el que se aprecia que para producir un kilogramo de carne se requieren 15,455 litros y uno de leche demanda 1,000 litros, situándose con valores intermedios otros productos como huevo y queso.

Cabe mencionar que se está valorando agua para beber como para los servicios inherentes a cada industria.

Cuadro 3. Litros de agua necesarios para producir un Kg de producto de origen animal

Producto	litros de agua
Carne bovina	15,415
Carne de cerdo	5,988
Carne de oveja /cabra	8,763
Carne de pollo	1,440
Leche	1,000
Huevo	3.300
Queso	5,000
(Stoll-Kleemann y O'Riordan, 2015).	

De igual manera el Worldwatch Institute ha expresado que, si el consumo de carne sigue creciendo de manera acelerada, la cantidad de agua necesaria

para mantener ese hato se duplicará a mediados de este siglo (Stoll-Kleemann y O'Riordan, 2015). Recordando que, si bien el planeta está constituido de tres cuartas partes de agua, en su mayoría ésta no es apta para el consumo o aprovechamiento agrícola. Por otro lado, el calentamiento global está derritiendo el agua dulce contenida en los glaciares de los polos. Ante estos hechos también se deberá tener presente que ante el acelerado crecimiento de la población humana implicaría que se deben encontrar alternativas más económicas de aprovechar el agua, porque más personas requerirán el acceso a este líquido. Además, según indican las estadísticas, unos 2.500 millones de personas ya viven en áreas sujetas a estrés hídrico y se estima que para el año 2025 podría ser más de la mitad de la humanidad que se situó en la misma categoría.

Por otro lado, en condiciones de calentamiento global de 1,5 y 2,0 °C, Asia Central será la región más sensible al cambio climático en comparación con el promedio mundial, dada su alta demanda de agua para la producción agrícola. En estas condiciones se prevé que la temperatura aumente en 1,7° C y 2,6°C y que las precipitaciones lo hagan en un 9% y 12%, respectivamente durante el calentamiento global.

A partir de este hecho, se pronostica que el requerimiento promedio de agua para los cultivos aumente en 13 mm y 19 mm por año, respectivamente, en los escenarios de calentamiento global de 1,5°C y 2,0°C, agudizando el desabasto hídrico para la producción de alimentos (Zhang et al., 2020; Li et al., 2020).

CAMBIO CLIMÁTICO Y DESEMPEÑO PRODUCTIVO EN LOS ANIMALES

Como se ha detallado, la producción animal y el cambio climático mantienen una relación compleja, que se va acentuando en la medida que se registran aumentos de las temperaturas promedio, cambios de regímenes de lluvias y alteraciones en la composición de la atmósfera, entre otros aspectos. Los animales que se desarrollan en condiciones medioambientales variables tienden a padecer estrés al percibir oscilaciones en las temperaturas y para hacer frente a estos cambios experimentan modificaciones fisiológicas y de comportamiento que en la mayoría de los casos, se manifiestan con cambios en los requerimientos de nutrientes, siendo el agua y la energía los más alterados cuando el ganado sale de su denominada zona de confort térmico (Rubio et al., 2017).

La magnitud del estrés térmico y su impacto en la producción animal son difíciles de estimar, una forma es mediante la respuesta de los animales. Para ello, diferentes índices han sido propuestos para identificar condiciones de estrés en fincas comerciales de leche y engordas en corral, algunos de ellos son: el de temperatura-humedad, ajuste por velocidad del viento y radiación carga de calor y tasa de respiración, por mencionar los principales (Oyhantçabal et al., 2010).

En países subtropicales y tropicales, donde la ganadería vacuna está más adaptada a temperaturas mayores gracias a los cruzamientos entre razas *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 países cálidos está prácticamente en los límites soportables de temperatura (Rubio et al., 2017).

Por lo mismo, se estima que los impactos del cambio climático variarían según las especies y los escenarios climáticos. Por ejemplo en Sudamérica si continúan las tendencias, en caliente y seco para 2060, el ganado de carne disminuirá en un 3,2%, el ganado lechero en un 2,3%, los cerdos en un 0,5%, y pollos en un 0,9%, lo que se podría compensar con un aumento de ovejas en un 7% (Seo et al., 2010).

Ante estas circunstancias Li et al. (2020) sugieren investigar el balance hídrico para las principales áreas de cultivo agrícola como estrategia científica para el desarrollo sostenible del planeta; mientras que 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 impactos como la sequía y la mayor presión de vectores de enfermedades, mejorar la

distribución de áreas de sombra y de abrigo para el ganado, adoptando en donde sea factible sistemas silvopastoriles (Lin, 2007). Para poder evaluar el impacto que tiene y las consecuencias del cambio climático sobre los sistemas de producción, es importante analizar las barreras que esas medidas de adaptación representan, así como ponderar las condiciones de cambio a futuro.

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE CH₄

Conociendo el comportamiento atmosférico experimentado durante el siglo XX, con aumentos significativos en los niveles de CH₄ a una tasa constante de 15 ppb por año, además de una cierta estabilización en la década de los años 1990, sin embargo, se ha percibido un incremento acelerado después del año 2006 (Puliafito et al., 2020), las investigaciones para mitigar los efectos del cambio climático son crecientes y 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 productos de origen animal para la población (Canziani y Mielinicki, 2007; Gerber et al., 2013; Tullo et al., 2019), como los sistemas silvopastoriles (Lin et al., 2007). Sin embargo, estos esfuerzos se han revelado insuficientes y la problemática reclama una urgente y masiva reacción de la comunidad global.

Entre las estrategias para mitigar las emisiones de CH₄ se ha propuesto: reducir el inventario de rumiantes, mejoramiento genético a partir del desarrollo de razas y cruzas menos metanogénicas y manipulación dietética-nutricional para reducción de microorganismos ruminales productores de

metano; esta última parece ser la de mayor potencial en términos de simplicidad y factibilidad (Ramírez et al., 2014). La manipulación nutricional para suprimir la metanogénesis (Reyes-Muro, 2011) incluye uso de forrajes de alta calidad, alta proporción de granos en la dieta y uso de aditivos, entre otros (Bonilla, 2012; Haque, 2018).

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).

Estas medidas pueden alentar la absorción de nutrientes, optimizar la productividad de los animales, su fertilidad, y 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).

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 la 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 resistentes a la sequía, salinidad, plagas y enfermedades, entre otras que también serían una respuesta al cambio climático y para evitar la agudización del mismo.

El aumento del rebaño y la eficiencia de los animales también puede lograrse mediante una mejora en su manejo y de su salud, extendiendo consecuentemente su vida productiva y mejorando las tasas de reproducción, con lo cual se limitaría el número de individuos en mantenimiento (González et al., 2015).

La reducción de la prevalencia de las enfermedades comunes y parásitos restringiría la intensidad de las emisiones, ya que animales sanos son más productivos y, por tanto, reducen las emisiones unitarias (González et al., 2015).

Por otro lado, Rojas-Downing et al. (2017), en un intento por salvaguardar las condiciones de la producción pecuaria y su sostenibilidad por la necesidad de alimentar a la población humana, proponen las siguientes medidas: a) evaluaciones con el uso 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 b) el diseño de políticas que incentiven y faciliten la implementación de medidas de adaptación y mitigación al cambio climático.

CONSIDERACIONES FINALES

Es patente que la producción animal y el cambio climático mantienen una relación tanto íntima como compleja y, de manera reiterada, se ha señalado a la actividad agropecuaria como una de las principales actividades económicas que ha perturbado las variables y procesos climáticos, coadyuvando al calentamiento global de una forma trascendental.

El riesgo de que el calentamiento global se acentúe por el aumento de la población que se traduce en mayor demanda de productos agropecuarios y, con ello, también se eleven los volúmenes de desechos contaminantes, no tienen hasta la fecha respuestas mediante medidas de mitigación al cambio climático suficientemente energéticas como para revertir esta tendencia.

Se requiere implementar estrategias coordinadas en las escalas globales y locales en todos los eslabones de las cadenas de producción animal, pues se deben cambiar de manera decisiva los modelos de consumo e introducir prácticas sustentables en la actividad primaria e industrial que surjan de las investigaciones científicas que puedan encontrar un equilibrio entre la producción agropecuaria, el consumo alimentario y la sustentabilidad ambiental.

Finalmente, es necesario reforzar legislaciones y normativas que regulen la emisión y manejo de excretas y gases de efecto invernadero, así como asegurar el seguimiento de estos instrumentos legales para se apliquen con rigor y se contengan no sólo los GEI sino el daño a los recursos naturales (agua, suelo y aire) y, de ser posible, aminoren los graves efectos nocivos de

la interacción entre el cambio climático, el uso de recursos y la producción animal.

Estas tareas se deben adoptar y/o reforzar 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 estar a la altura de un reto que hasta ahora está claramente 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.
- Andriulo, A., Sasal, C., Amendola, C., a Rimatori, F., 2003. Impacto de un sistema intensivo de producción de carne vacuna sobre algunas propiedades del suelo y del agua. Rev. de Investig. Agropecu. 32:27-56.
- Arias, R.A., Mader, T.L., Escobar, P.C., 2008. Climatic factors affecting cattle performance in dairy and beef farms. Arch. Med. Vet. 40: 7-22

- Benchaar, C., Pomar, C., Chiquette, J., 2001. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: a modelling approach. *Can. J. Anim. Sci.*, 81:563-574.
- 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.
- Brumm, M., 2002. Sources of manure: Swine (3). Pp. 49-64 In: Hatfield, JL & BA Steward (eds.). *Animal Waste Utilization: Effective use of manure as a soil resource*; 1ª ed. Lewis Publishers. Washington D.C. USA.
- Canziani, P.O., Mielinicki, D.M., 2007. Cambio climático y desarrollo limpio en Argentina (1) pp. 63-67 eb CAENA (ed). 1 Congreso Argentino de Nutrición Animal. Buenos Aires, Argentina.
- 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
- Crowley, T.J., 2000. Causes of climate change over the past 1000 years. *Science*, 289: 270-277.
- Custodio, E., Llamas, R., 1983. *Hidrología Subterránea*. 1a Ed. Omega, Barcelona, España. pp. 1194.
- Davis, J., Truman, C., Kim, S., Ascough, J., Carlson, K., 2006. Antibiotic transport via run off and soil loss. *J. Environ. Qual*35:2250-2260.
- 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

- Delgado, C., Rosegrant, M., Steinfeld, H., Ehui, S., Courbois, C. 2001. Livestock to 2020: the next food revolution. *Agric.* 30: 27-29.
- 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
- Duarte da Silva, L.N., de Alencar, N.I., García, R.G. de Moura, D.J., 2019. Environmental impact of Brazilian broiler production process: Evaluation using life cycle assessmen. *J. Clean. Prod. Journal of Climate ..* 237:117752
- Edwards, D., Daniel, T., 1992. Environmental impacts of on-farm poultry waste disposal – A review. *Bioresource Technol.* 41: 9-33.
- Elliott, 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.
- EPA (Environmental Protection Agency), 2000. National Water Quality Inventory 2000 Report (EPA-841-R-02-001). United States Environment Protection Agency, USA. pp: 207.
- EPA (Environmental Protection Agency)., 2006. Global Anthropogenic Non-CO2 greenhouse gas emissions: 1990-2020. United States Environment Protection Agency, USA. pp: 274.
- Espíndola, C., Valderrama, J.O., 2012. Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Inf. Tecnol.* 23: 163-176.
- FAO., 2010. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector: A Life Cycle Assessment. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy

- FAO., 2005a. Increasing the contribution of small-scale fisheries to poverty alleviation and food security. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 10. Rome, Italy FAO. 79 p.
- FAO., 2005b. Review of the state of world marine fishery resources. FAO Fisheries Technical Paper. No. 457. Rome, Italy FAO. 235 p.
- FAO., 2006a. Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy
- FAOSTAT., 2020. Base de datos de emisiones, Agricultura, Agricultura Total. In: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/EM>
- Fontúrbel, F., 2005. Physicochemical and biological indicators of the eutrophication process at Titikaka Lake (Bolivia). *Ecol. Apl.* 4: 1-2.
- Garzón, J.E., Cárdenas, E.A., 2013. Emisiones antropogénicas de amoníaco, nitratos y óxido nítrico: compuestos nitrogenados que afectan el medio ambiente en el sector agropecuario colombiano. *Rev. Med. Vet. Zoot.*, 60: 121-138.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Faluccci, 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.
- Goldewijk, C.K., Battjes, J.J., 1997. A Hundred Year (1980–1990) database for Integrated Environmental Assessments (HYDE, version 1.1). National Institute of Public Health and the Environment (RIVM) , Bilthoven, The Netherlands.
- 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.

- Grunert, K.G., Sonntag, W.I., Glanz-Chanos, V., Forum, S., 2018. Consumer interest in environmental impact, safety, health and animal welfare aspects of modern pig production: Results of a cross-national choice experiment. *Meat Sci.* 137: 123-129.
- Hamscher, G., Pawelzick, H., Hoper, H., Nau, H., 2005. Different behavior of tetracyclines and sulfonamides in sandy soils after repeated fertilization with liquid manure. *Environ. Toxicol. Chem.* 24:861-868.
- 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.A., Gil, S.B., 2008. Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Producción animal intensiva y medio ambiente: Ecol. Austral*18:273-289.
- Herrero, M., Iramain, M., Korol, S., Flores, M., Pol, M., 2002. Calidad de agua y contaminación en tambos de la cuenca lechera de abasto sur. *Rev. Arg. Prod. An.* 22:61-70.
- IPPC., 2001. (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate change 2001:Thescientificbasis*.J.T.Houghton,Y.Ding,D. J. Griggs, M. Noguera, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson, eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 881.

- IPCC., 2006. (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006. (Intergovernmental Panel on Climate Change), IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC Secretariat, Geneva, Italy
- Iramain, M., Pol, M., Korol, S., Herrero, M., Fortunato, M., 2005. *Pseudomonas aeruginosa* en agua y leche cruda: un caso de estudio. *Rev. InVet.* 7:133-137.
- Jacobson, M. Z., 2010. Short-term effects of controlling fossil-fuel soot, biofuel soot and gases, and methane on climate, Arctic ice, and air pollution health. *J. Geophys. Res. Atmos.* 115:D14.
- Jjemba, P. 2003. The potential impact of veterinary and human therapeutic agents in manure and biosolids on plants grown on arable land: a review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 93:267-278.
- Jones, P.G., Thornton, P.K., 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin América in 2055. *Glob. Environ. Change* 13: 51-59.
- Kolodziej, E., Harter, T., Sedlar, D., 2004. Dairy wastewater; aquaculture and spawning fish as sources of steroid hormones in the aquatic environment. *Environ. Sci. Tech.* 38:6277-6384.
- Koerkamp, P.G., Metz, J.H.M., Uenk, G.H., Phillips, V.R., Holden, M.R., Sneath, R. W., Short J.L., White, R.P.P., Hartung, J., Seedorf, J., Schröder, M., Linkert, K.H., Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J.O., Wathes, C.M., 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70:79-95.
- 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.
- Lasey, K.R., 2007. Livestock methane emission: From the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle. *Agric. For. Meteorol.* 142:120-132.
- 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.
- 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
- McLeod, A., 2011. World livestock 2011- livestock in food security. Rome, Italy. pp. 115
- Miller, J., 2001. Impact of intensive livestock operations on water quality. *Proc. Western Canadian. Dairy Seminar* 13: 405-416.

- 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.
- Molina-Benavides, R.A., Aguilar, F.S., Duque, S.P., Guerrero, H.S., 2016. Caracterización del ambiente térmico para la actividad ganadera bovina en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agron.* 65:406-412.
- Moss, A.R., Jouany, J.P., Newbold, J., 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. zotech.* 49: 231-253). EDP Sciences.
- Nahm, K.H. 2003. Evaluation of the nitrogen content in poultry manure. *Worlds Poult. Sci. J.* 59:77-88.
- Nasca, J.A., Toranzos, M.R., Banegas, N.R., Ricci, H.R., 2005. Estimación de la producción de metano en sistemas pastoriles de la llanura deprimida salina de Tucumán. *Rev. arg. prod. anim.* 25: 87-88.
- 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.
- Oyhantçabal, W., Vitale, E., Lagarmilla, P., 2010. El cambio climático y su relación con las enfermedades animales y la producción animal. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de Uruguay. OIE. Uruguay. 169-177
- Pathak, H., Li, C., Wassmann, R., 2005. Greenhouse gas emissions from Indian rice fields: calibration and upscaling using the DNDC model.

Biogeosciences, European Geosciences Union, 2 :113-123. fhal-00297514f

Pinos-Rodriguez, 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
Powers, W., 2009. Environmental challenges ahead for the US dairy industry. In *Proc. of the 46th Florida Dairy Production Conference*. pp.13-24

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.

Putaud, J.P., Van Dingenen, R., Alastuey, A., Bauer, H., Birmili, W., Cyrys, J., ... & Harrison, R.M., 2010. A European aerosol phenomenology–3: Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across European Atmos. Environ. 44(10), 1308-1320.

Ramírez, J.F., Posada Ochoa, S., Noguera, R., 2014. Ruminant methanogenesis and mitigation strategies. *CES Med. Vet. Zootec*. 9: 307-323.

Reddy, K.R., Kadlec, R., Flaig, E., Gale, P., 1999. Phosphorus retention in streams and wetlands: a review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol*. 29: 83-146.

Reddy, K.R., Hodges, H.F., 2000. (Eds.). *Climate change and global crop productivity*. CABI. New York, USA. pp. 460.

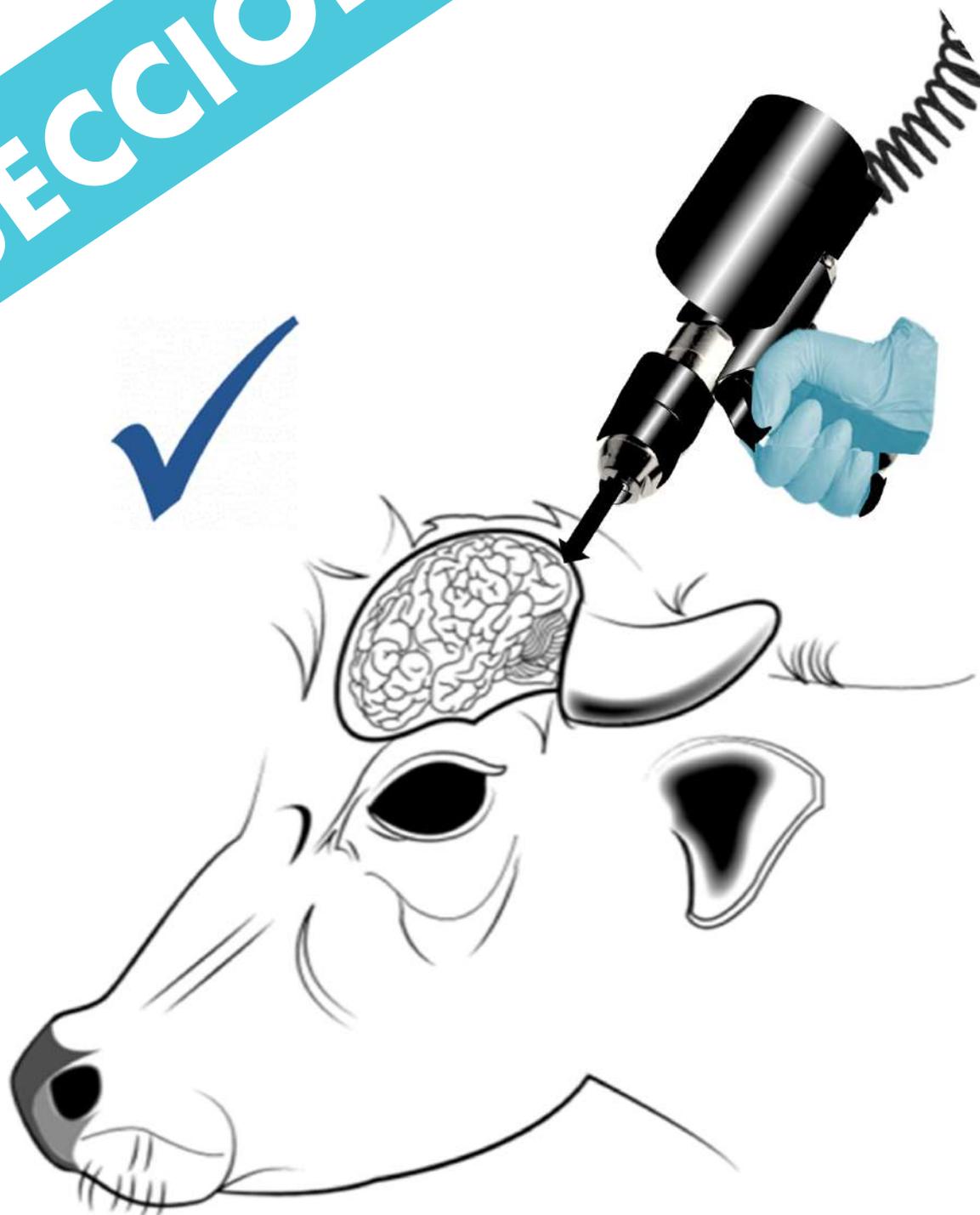
Reyes-Muro, A., Gutierrez-Bañuelos, H., Diaz-Garcia, L.H., Gutierrez-Pina, F.J., Escareno-Sanchez, L.M., Bañuelos-Valenzuela, R., Medina-Flores,

- 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.
- 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.
- SAYDS., 2007. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 2° Comunicación Nacional de la República Argentina de la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático. pp.201.
- 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.
- Schauberger, G., Piringer, M., Mikovits, C., Zollitsch, W., Hörtenhuber, S.J., Baumgartner, J., Niebuhr, K., Anders, I., Andre, K., Hennig-Pauka, I., Schönhart, M., 2018. Impact of global warming on the odour and ammonia emissions of livestock buildings used for fattening pigs. *Biosyst. Eng.* 175:106-114.
- Seedorf, J., Hartung, J., 1999. Survey of ammonia concentrations in livestock buildings. *J. Agric. Sci.* 133: 433-437.
- 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.

- 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., Haan, C., 2006. *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. FAO, Rome, Italy
- Steinfeld, H., Gerber, P., 2010. Livestock production and the global environment: consume less or produce better?. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107:18237-18238.
- Stoll-Kleemann, S., O'Riordan, T., 2015. The sustainability challenges of our meat and dairy diets. *Environ Sci Policy*. 57: 34-48.
- Stone, K., Hynt, P., Coffey, S., Matheny, T., 1995. Water quality status of a USDA water quality demonstration project in the Eastern Coastal Plain. *J. Soil. Water Conserv.* 50: 567-571.
- Sundquist, B., 1993. The global carbon dioxide budget. *Science*. 259: 934–941.
- Swingland, I.A., 2001. Biodiversity, definition of *Encyclopedia of Biodiversity*, 1: 377–391.
- Thorne, P., 2007. Environmental health impacts of concentrated animal feeding operations: anticipating hazards-searching for solutions. *Environ. Health Perspect.* 115: 296–297.
- Tubiello, F.N., Salvatore, M., Rossi, S., Ferrara, A., Fitton, N., Smith, P., 2013. The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environ. Res. Lett.*8:015009
- 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., 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
- Viney, P., Aneja, P.A., Roelle, G.C., Murray, S.J., Erisman, W., Fowler, D., Willem, A.H., Naveen, P., 2001. Atmospheric nitrogen compounds II: emissions, transport, transformation, deposition and assessment. *Atmos. Environ.* 35:1903-1911.
- 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. Wang, T., Xue, L., Brimblecombe, P., Lam, Y. F., Li, L., Zhang, L., 2017. Ozone pollution in China: A review of concentrations, meteorological influences, chemical precursors, and effects. *Sci. Total Environ.* 575:1582-1596.
- Zhang, G. W., Zeng, G., Iyakaremye, V., You, Q. L., 2020. Regional changes in extreme heat events in China under stabilized 1.5° C and 2.0° C global warming. *Adv. Clim. Change Res.* 11(3). *Article in press.* <https://doi.org/10.1016/j.accre.2020.08.003>

SECCIÓN IV



CALIDAD DE MUERTE

Signos y reflejos de sensibilidad durante la muerte en búfalos y reses para evaluar la calidad del aturdimiento

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 19

Signos y reflejos de sensibilidad durante la muerte en búfalos y reses para evaluar la calidad del aturdimiento

Daniel Mota, Marcelo Daniel Ghezzi, Marcelo R. Rosmini, Leonardo Thielo de la Vega, Ismael Hernández, María Nelly Cajiao, José Rodolfo Ciocca, Karina Lezama, Clemente Lemus e Isabel Guerrero

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), 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., 2019).

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 (Mota-Rojas et al., 2010a,b; Farouk, 2013; Terlow et al., 2016a). 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). 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 sacrificuen 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. Salvando 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* (Kandeepan 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 los estímulos 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).

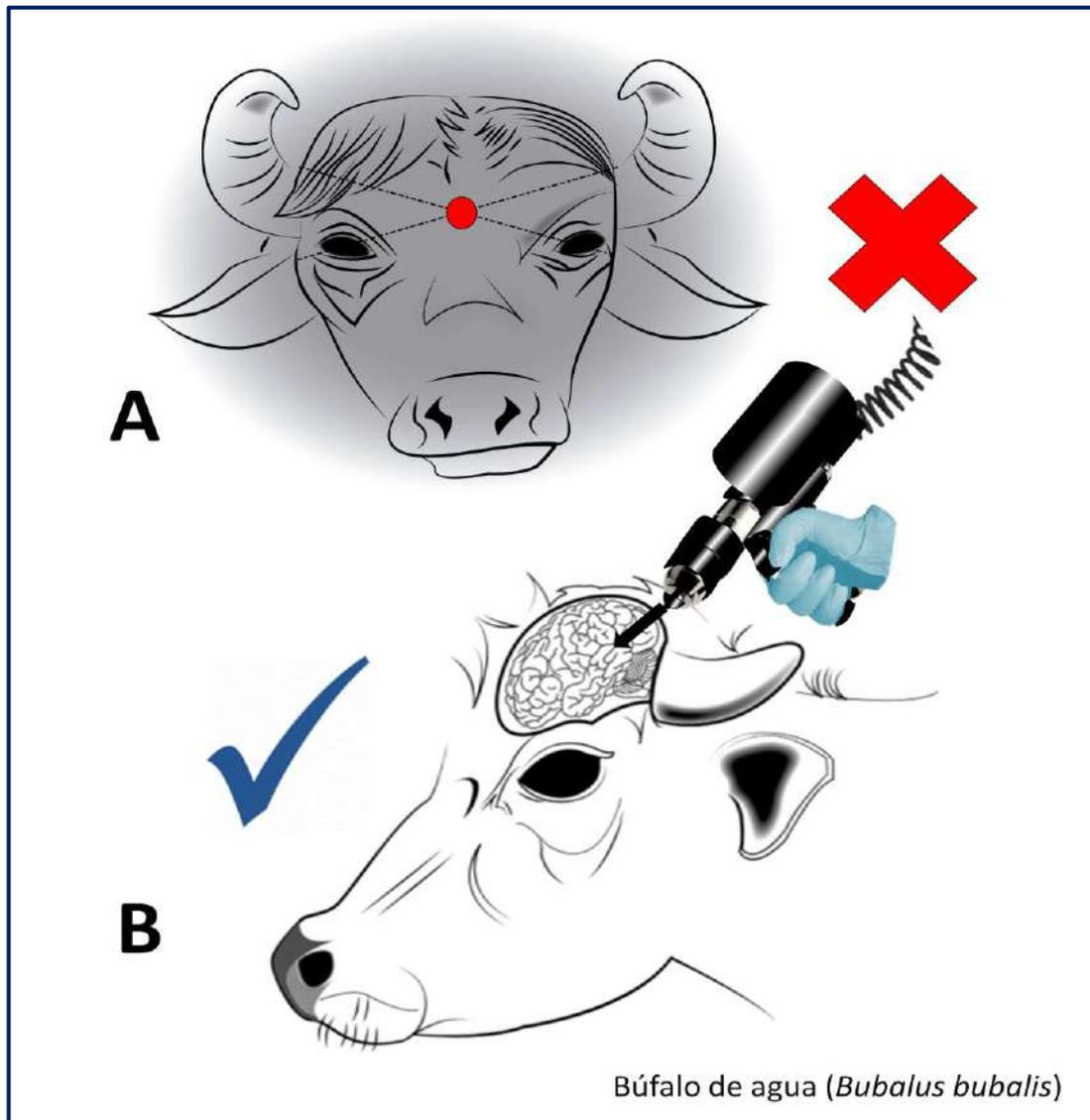
El hecho de realizar en los animales el aturdimiento previo a la matanza, lo que busca es provocar un estado de inconsciencia e insensibilización, hasta el momento de la muerte del animal (Gregory et al., 2010), para que de este modo se evite por todos los medios el dolor y el sufrimiento (Verhoeven 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 como medio dispositivo con un 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 diencéfalo 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, 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** podemos observar 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 perforante”, pero en categorías más pesadas se realiza el aturdimiento mediante electronarcosis con 2-2.5 A o bien 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 (bovinos del 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

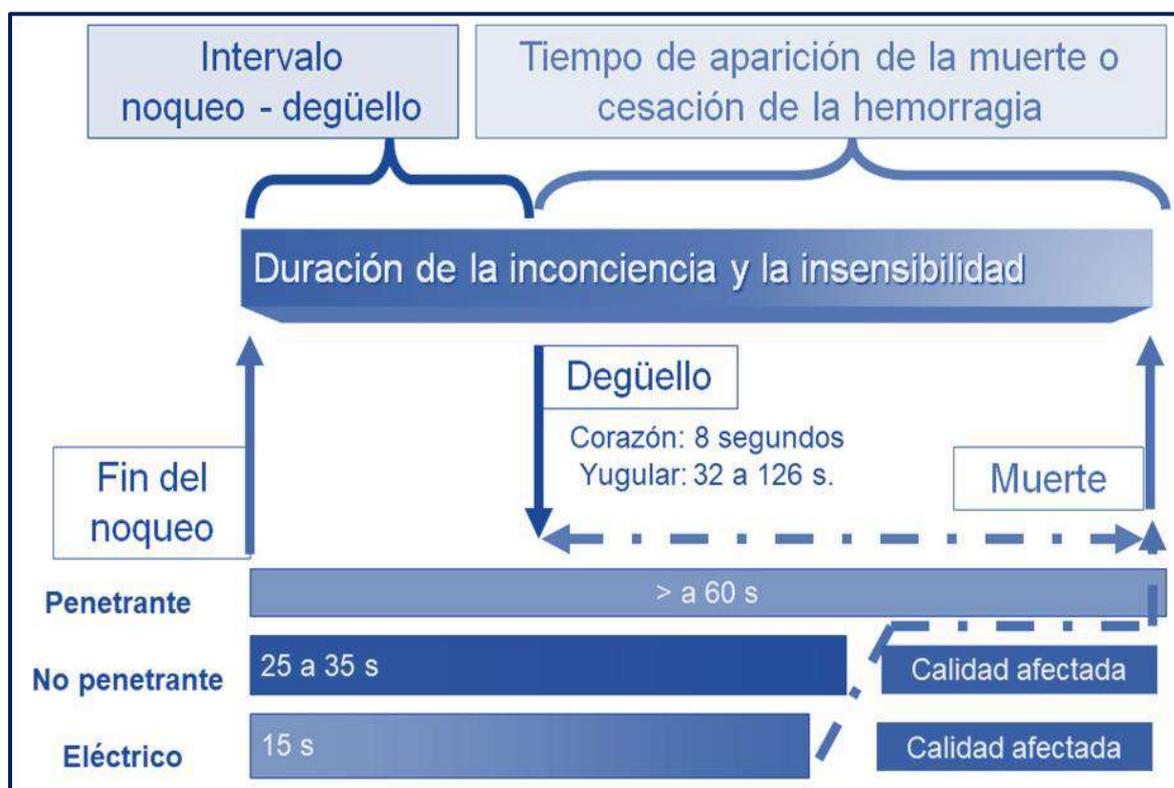
resultando en la pérdida del estado de consciencia, proporcionando un efecto útil que puede ser mayor a los 60 segundos. Mientras que en el método de perno cautivo no penetrante la conmoción cerebral e insensibilidad sucede a los 2 milisegundos, además de que se produce por deformación de los tejidos del sistema nervioso central y aumento de la presión intracraneana por lo que su efecto es útil entre 25 y 35 segundos (Ghezzi, 2017).

Cuando de 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). 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 sistema nervioso central 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.

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 del tálamo 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 reflejos son movimientos automáticos que son mediados por el sistema nervioso central 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). Tanto el reflejo corneal, como el palpebral requieren el 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).

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 con 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 puede apreciar 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
CA2	Repetir el aturdimiento de inmediato	Reflejo corneal	El animal parpadea lenta o rápidamente en respuesta a estímulos de la córnea
		Respiración rítmica	Inhalaciones y exhalaciones rítmicas continuas, pueden ser vistas o se pueden sentir las exhalaciones con la mano
CA1	Monitorizar de cerca y repetir el aturdimiento si dos o más signos son observados	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
		Nistagmos	Movimientos rápidos del globo ocular de lado a lado
		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 monitorear el nivel de inconsciencia después del aturdimiento en el ganado (Modificado de Verhoeven et al., 2015).

Reflejo	Definición	Presente en el animal que está ¹		Proviene de	Observaciones
		Consciente	Inconsciente		
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, inervado 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	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 de retirada por dolor	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 pedal	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 de enderezamiento	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).

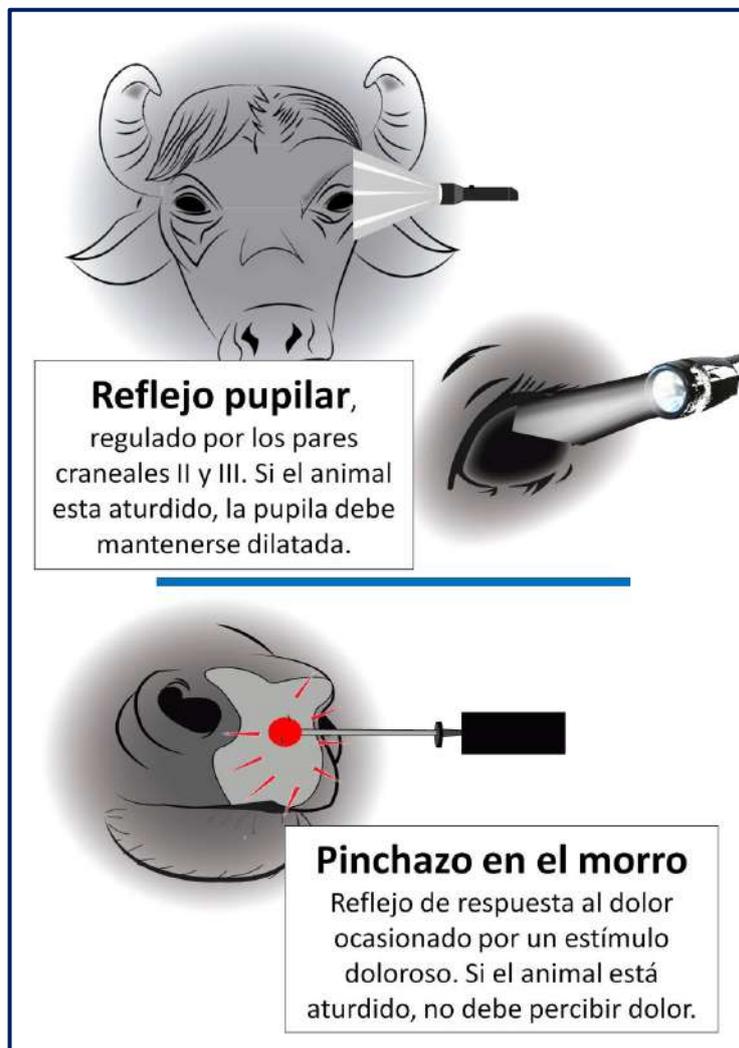
La inconsciencia causada por una interrupción permanente o temporal de la comunicación cerebral, generalmente es evaluada por medio de la observación de indicadores conductuales, que pueden estar relacionados con respuestas internas o estímulos externos (Levitis et al., 2009). Dentro de estas respuestas 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

(Ilustraciones, cortesía de Ana María Duarte).



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) y se asume que el animal está inconsciente por analogía de las similitudes con el electroencefalograma 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, 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.

¿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*) (Glaridon 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 donde 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 aturrido 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>

- 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.

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.

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.australiananimalwelfare.com.au%2Fapp%2Fwebroot%2Ffiles%2Fupload%2Ffiles%2Fwelfare-sheep-slaughter.pdf&ei=LO7hU4vIDYbcOvW_gKAJ&usg=AFQjCNEq52FDxL5rarLsM3l_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.

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/aturdimientoysacrificio.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 electroconvulsive therapy (ECT)? *Meat Sci.*, 90, 956-961.

Calidad de la muerte en búfalos y reses

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 20

Calidad de la muerte en búfalos y reses

Daniel Mota, Ana Strappini, Marcelo Daniel Ghezzi, Ismael Hernández, Marcelo R. Rosmini, Agatha Miranda, Fabio Napolitano, Alejandro Casas, Karina Lezama, Isabel Guerrero, José Rodolfo Ciocca y Leonardo Thielo de la Vega

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).

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, acarreado 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).

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**, podemos observar la representación esquemática de la neuroanatomía funcional de la nocicepción. 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.

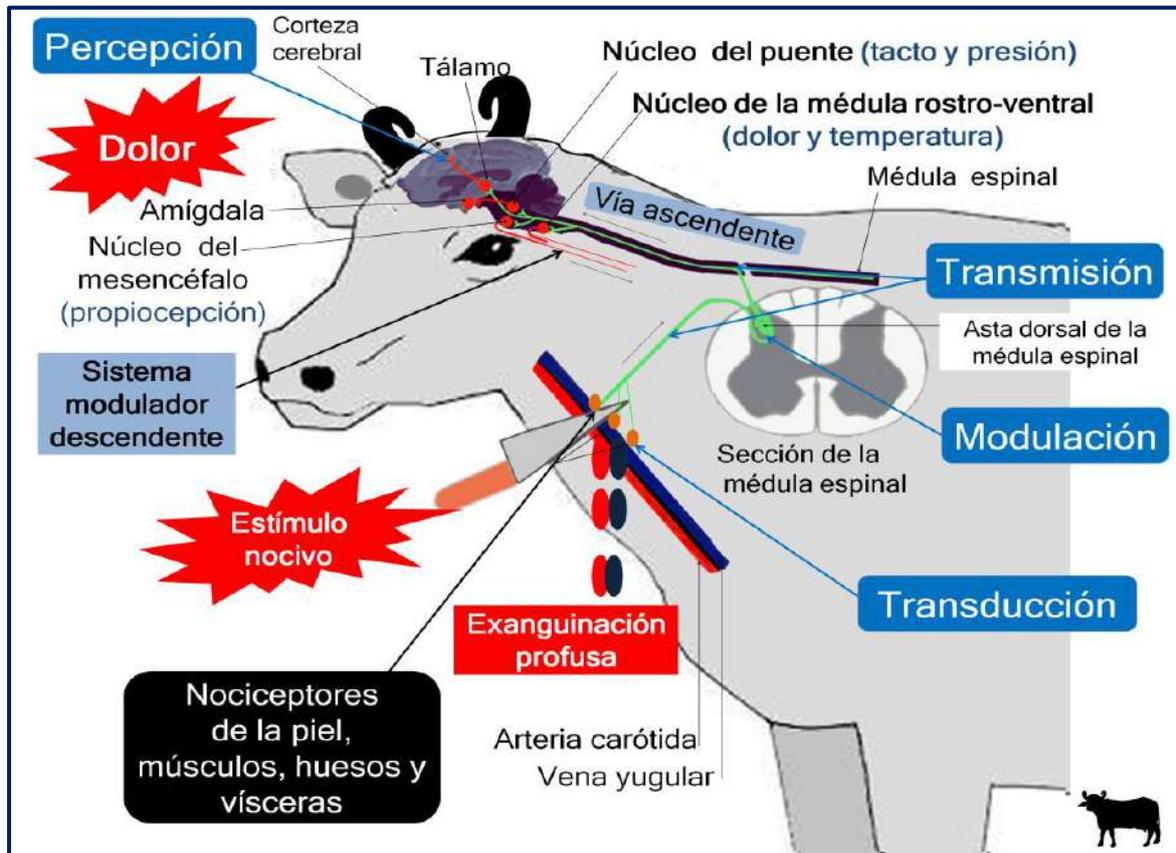
A partir del cual se produce el segundo estadio, la **transmisión** de la señal nociceptiva, donde la información es transmitida a la médula espinal, luego al tálamo y finalmente a la corteza cerebral.

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 neopalio en particular el área sensitiva donde se percibe como **dolor**.

Figura 2. Proceso neurofisiológico de la nocicepción. 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 neopalio.



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 encefalográfica (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 integra 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 degüelle 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).

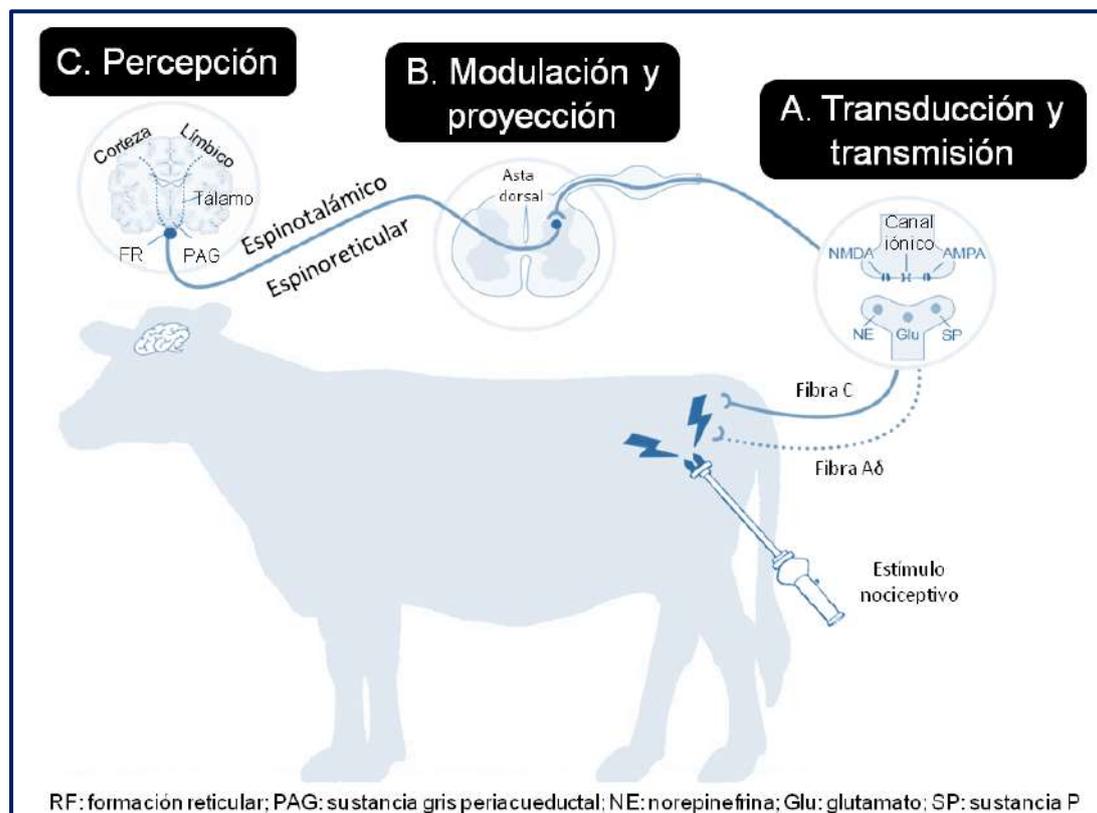
Con todo lo anterior, se corrobora que con el uso de un método de aturdimiento efectivo y la elección adecuada del sitio anatómico se asegura la muerte sin dolor (Shearer, 2018).

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 primer estadio, se genera la **transformación** del estímulo nocivo, en este caso, pasa 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 espinoreticular (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.

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). 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).

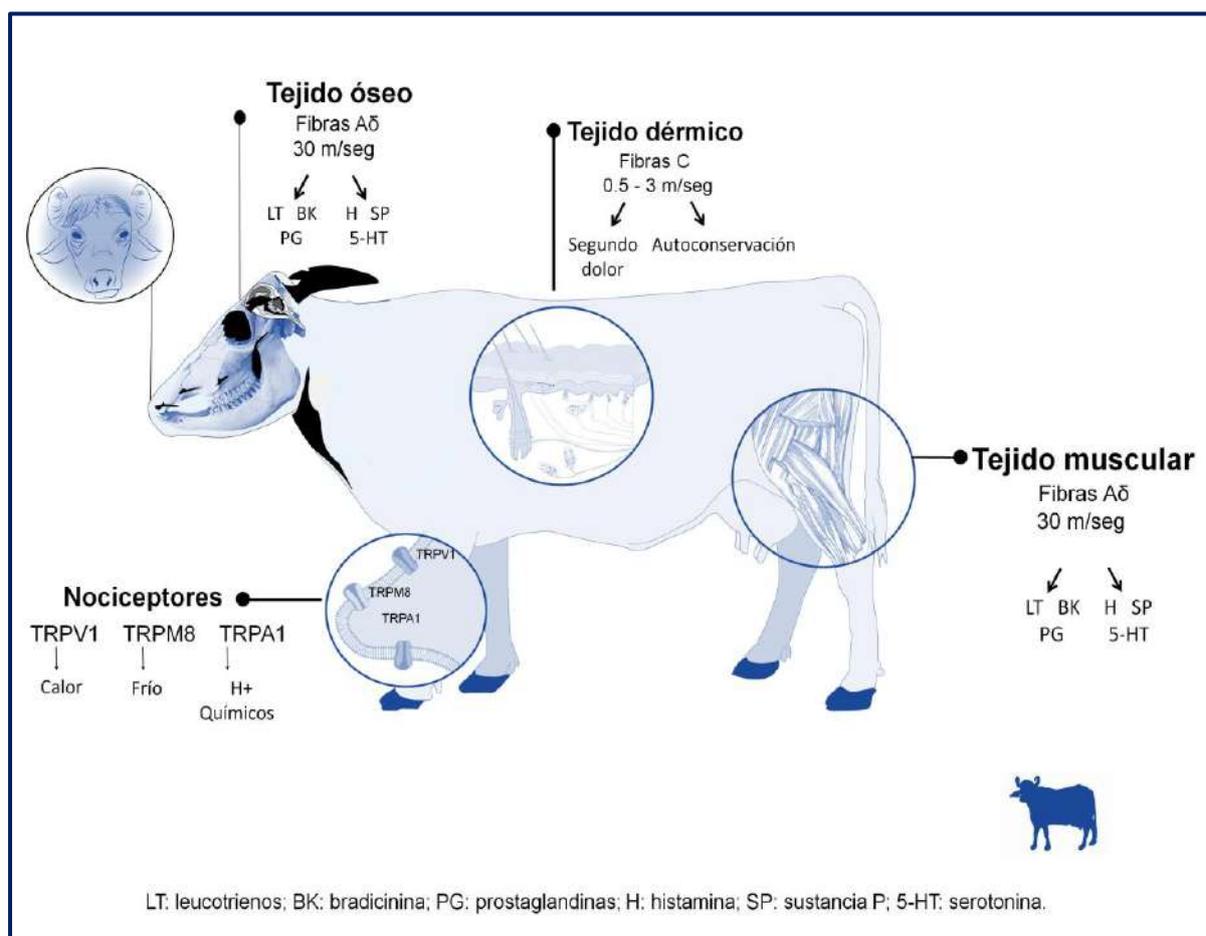
Por lo tanto, el control de los eventos y factores asociados a la activación de la neurobiología del dolor en la etapa *antemortem*, ayuda a evitar la liberación de sustancias proinflamatorias que promueven la transmisión de los impulsos nociceptivos o que inclusive activan con mayor facilidad otras 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, entre ellas, 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 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

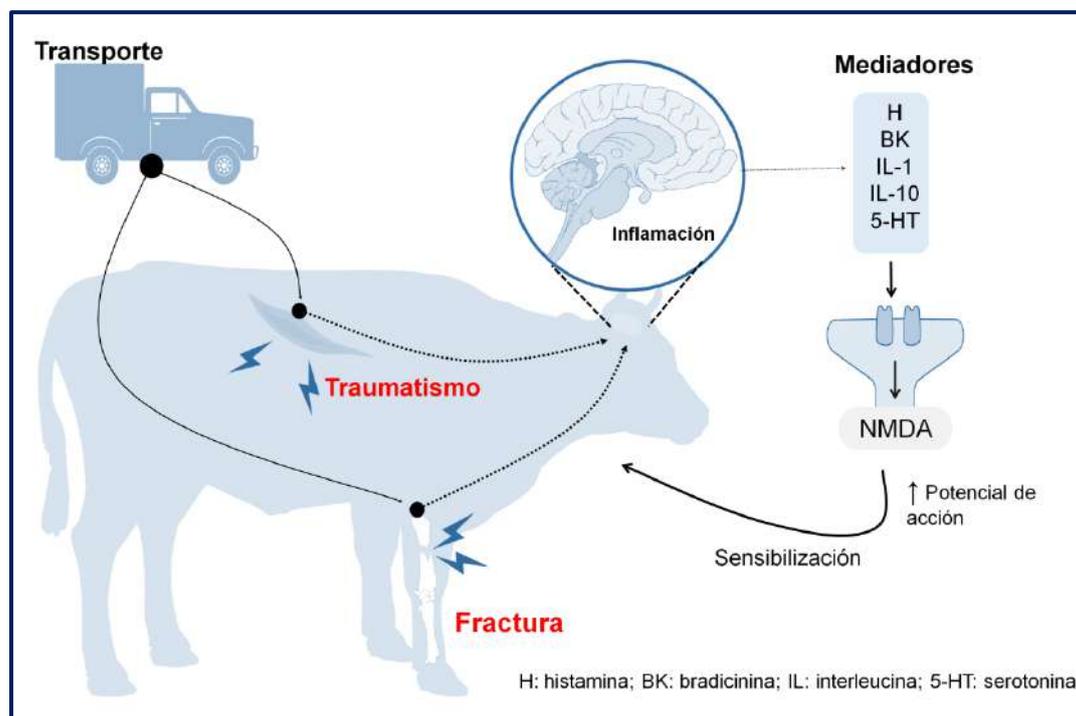
denominado como segundo dolor, que tiene la función de autoconservación y desuso. Mientras en el caso de existir lesiones de tejido muscular y tejido óseo se presenta en mayor cantidad las fibras tipo A delta, la cual tiene una velocidad de transmisión de 30 m/seg., que responden a umbrales más altos 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



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 aturcido 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 sangre y 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 aturcido, 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, diencefalo 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 degüelle, 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 logra 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 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 alta 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 3**) (Villarroel et al., 2001).

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 tal como arreadores eléctricos a veces pudiera 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.

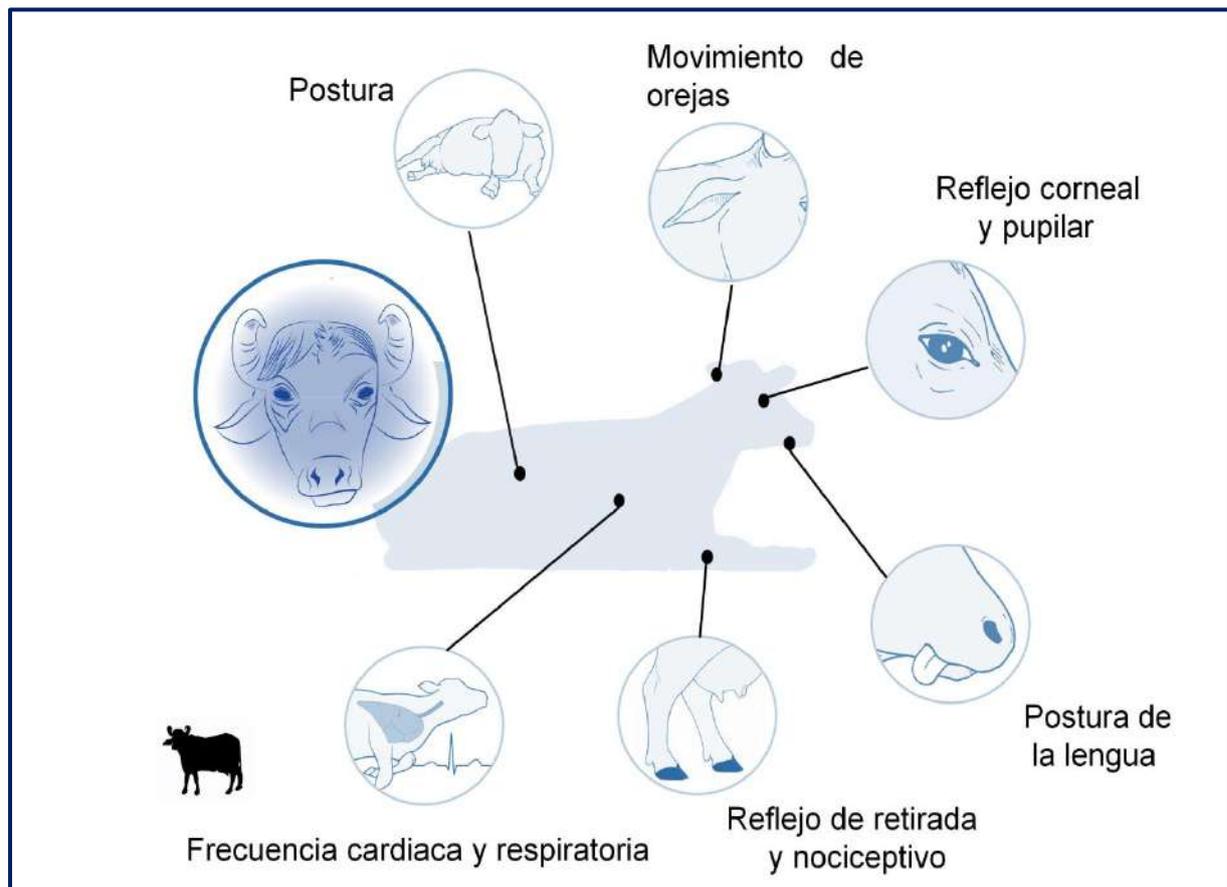
DOLOR DURANTE EL SACRIFICIO RELIGIOSO (Shechita/Kosher, Halal)

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 (Gardon 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 podemos mencionar: 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).

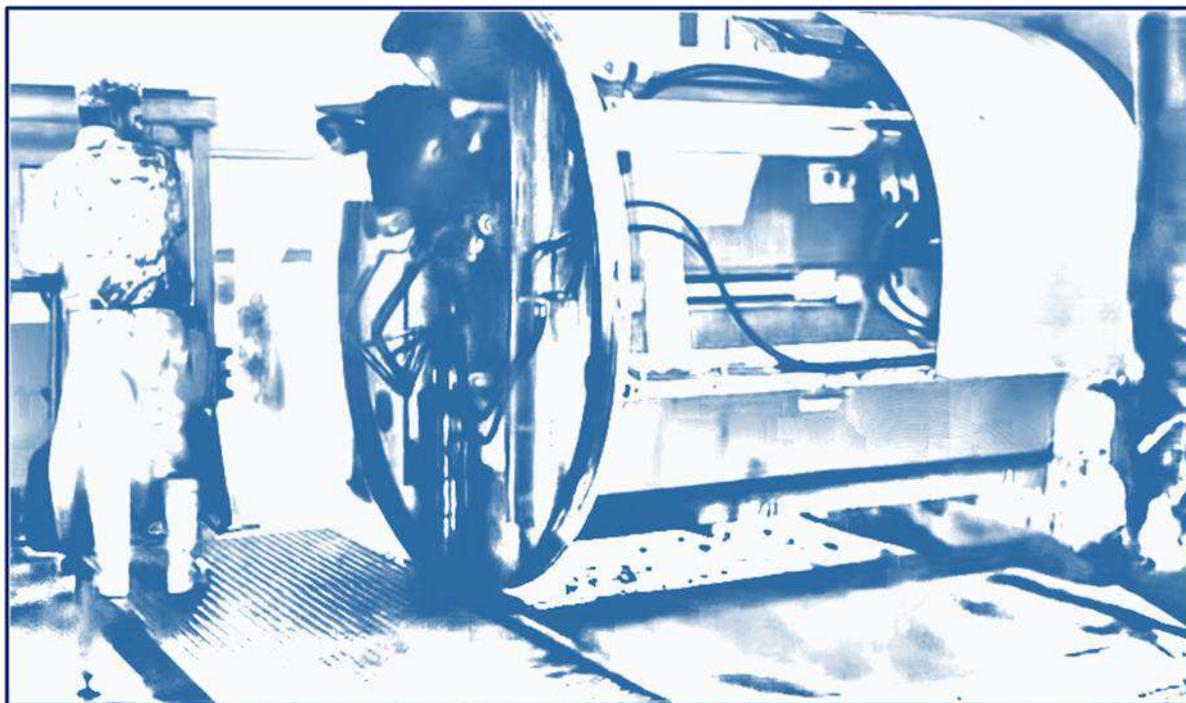
La entrada de líquido en los bronquios y el espacio alveolar, en este caso sangre, desencadena una reacción antiinflamatoria con la liberación de citocinas proinflamatorias, TNF- α e interleucinas como la IL- 1 e IL- 10, sin embargo, la inoculación de organismos de la flora común de la orofaringe y el 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).

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 19.

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., Steinhauserova, I., 2019. Halal Criteria Versus Conventional Slaughter Technology. *Animals*, 9, 530. <https://doi.org/10.3390/ani9080530>
- Ahsan, M., Hasan, B., Algotsson, M., Sarenbo, 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.
- 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., Tantilillo, 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 in the 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.spen.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.
- 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>
- 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).
- 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>



SECCIÓN V



CALIDAD DEL PRODUCTO



Manejo previo a la muerte y calidad de la carne del búfalo

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 21

Manejo previo a la muerte y calidad de la carne del búfalo

Isabel Guerrero, Ana Strappini, Daniel Mota, Iván García, Efrén Ramírez Bribiesca, Marcelo Daniel Ghezzi, Rosy G. Cruz, César Lázaro de la Torre, Patricia Mora, Adriana Olmos, Clemente Lemus, Quetzalli Gutiérrez, Luis Olvera, Salvador Flores y Alma Delia Alarcón

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. De ahí que 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; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b); sin embargo, para mejorar la comercialización de la carne de búfalo es necesario incentivar la matanza de animales jóvenes, clasificar la canal y caracterizar su carne; con ello se estará en posibilidad de estandarizarla, así como crear una identidad del producto en los puntos de venta (Andrighetto-Canozzi et al., 2016; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b).

El mercado de la carne del búfalo de agua 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 (Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b). En cuanto al producto final, la carne de esta especie se ha comparado con la del bovino tradicional destinado a la producción cárnica y la de búfalo, al parecer, 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 siendo más roja, el contenido de proteína es más alto en comparación con la de res (Robertson et al., 1983) y su mayor proporción en grasa poliinsaturada 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 no están bien descritas las bondades de la producción de búfalos de agua destinados al abasto de carne, así como las características nutricionales, fisicoquímicas y sanitarias del producto final (Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b).

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). Sin embargo, dadas sus características productivas como la precocidad, el alto rendimiento de la carne, la fertilidad y longevidad de la especie, podrían ser competitivos aún incluso con precios bajos, siempre y cuando exista un mercado para la carne (Hoogesteijn y Hoogesteijn, 2008; Guerrero-Legarreta et al., 2019a,b).

Una vez que los animales destinados al abasto de carne, tales como el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) o el ganado del género *Bos*, y otros animales destinados con este mismo fin zootécnico han cumplido el peso de engorda, los pasos siguientes consisten en embarcarse, transportarse y desembarcarse previo a su llegada al matadero. Dichas etapas 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 se ha determinado que, en la India, el transporte por carretera se utiliza con frecuencia para trasladar búfalos de agua del mercado al matadero. La manipulación y el transporte son estresantes para los animales y tienen implicaciones para su bienestar. La manipulación y el transporte inadecuados también contribuyen al deterioro de la calidad de la carne, los cuales están relacionados con el estrés y repercuten en el daño a la canal por magulladuras o hematomas, o encogimiento y una mayor frecuencia de presentación del corte oscuro de la carne (Chandra y Das, 2001a,b; Guerrero-Legarreta et al., 2002; Alarcón-Rojo y Duarte-Atondo, 2006; Guerrero y Totosaus, 2006; Mota-Rojas et al., 2010a,b; Guerrero et al., 2019).

Respecto a la bioquímica de la canal y el pH, el músculo del ganado bovino del género *Bos*, con un nivel superior a 6.0 a las 24 horas (pH_{24}) *post-mortem*, 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 debido al crecimiento bacteriano (Mach et al., 2008). A este defecto se le denomina carne DFD (oscura, firme y seca) y se presenta cuando el pH final (medido de 12-48 horas) *post-mortem*

es ≥ 6 , valores que dependen de la especie animal (Apple et al., 2005; Warris, 2000; Mota-Rojas et al., 2010a,b; Alarcón y Duarte-Atondo, 2010).

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 miopatía debido a la tonalidad color rojo oscuro con un pH por encima de 6.0 a las 24 horas *postmortem* (pH₂₄) (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 en las cuentas de microorganismos, los cuales pueden tener implicaciones en el 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). Así como acorta la vida de 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 pH₂₄ elevado es por la depleción de glucógeno pre-sacrificio, lo cual depende de que el animal fue

manejado en condiciones de estrés físico y mental en el proceso *antemortem*, 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: tiempo y manejo durante el transporte de la finca (granja) a la planta de matanza, tiempo de espera en el matadero, condiciones climáticas, ruptura social y el ambiente novedoso antes del sacrificio (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-Osti et al., 2019; Mahmood et al., 2019). Así también, acorta la vida de anaquel del producto; sin embargo, la concentración de glucógeno también varía ampliamente al momento del sacrificio dependiendo del género, tipo de raza y temperamento del animal, tiempo transcurrido de la falta de consumo alimenticio *ante-mortem*, 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).

Uno de los puntos críticos *antemortem* es el transporte de los búfalos debido a que 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). La transportación de los animales es un proceso complejo que incluye al menos, el arreo (**Figura 1**), el embarque (**Figura 2**), el 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 de lesiones (Chandra y Das, 2001) y dependiendo del tiempo y tipo de camino también favorece el desgaste muscular para

mantenerse en equilibrio. Por la importancia de los factores *ante-mortem* en la calidad de la carne, el presente capítulo discute los mecanismos de acción por los cuales los principales factores previos a la muerte de búfalos y reses ejercen su efecto en los cambios enzimáticos *post-mortem*.

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 FISIOPATOLÓGICOS 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 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 la pigmentación y a menos grasa intermuscular en la carne de búfalo cuando es comparada con la res. Los paneles sensoriales indican que la suavidad en ambas especies es también 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).

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 que además se relaciona con la 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 en refrigeración hasta un valor promedio de 5.5 (Lawrie, 1982; Alarcón y Duarte 2006; Mota-Rojas et al., 2005; Pérez Linares et al. 2006; Mota-Rojas et al., 2010a,b). 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, que propició la utilización del carbohidratos musculares, lo que a su vez impide que haya una suficiente concentración de ácido láctico muscular, por lo cual los valores de pH sean de 6.0 a las 24 horas después del sacrificio (Tarrant, 1989, citado por Guardia et al. 2005). Sin embargo 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 reftigerada, 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 que han sido explicados y seguirán siendo analizados en el presente capítulo, todos ellos 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. Todos ellos 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 y Totosaus, 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 por tiempos prolongados privados de alimento (Mota-Rojas et al., 2010a,b).

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 se vuelven rígidos (*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 (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 y Totosaus, 2006).

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 puede contaminar la canal durante su procesamiento y conservación (Southern et al. 2006); pero cuando los animales se exponen a diversos factores de estrés, tales como la excitación por los ambientes novedosos (neofobia), el frío, la fatiga, la anoxia, entre otras; reaccionan mediante una descarga de hormonas que encuentran sus receptores en la glándula adrenal, liberando adrenalina a partir de la médula

y 17-hidroxi- y 11-desoxi-corti-costerina de la corteza adrenal. 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-hidroxi-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 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), cuando el animal percibe estímulos estresores del ambiente. 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 (CO₂, ácido láctico, respectivamente) son arrastradas por el torrente circulatorio y cuando se lleva a cabo el sacrificio 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 y Totosaus, 2006). 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 *postmortem* y el pH final 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 que al momento de la matanza, cuando los toros fueron expuestos a condiciones de estresantes, todos los parámetros fueron significativamente más altos que cuando los animales se encontraban en la finca (rancho); los niveles plasmáticos de cortisol (133%), creatinquinasa (90%), lactato (86%) y glucosa (38%) se incrementaron.

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). Los elevados niveles de lactato al sacrificio son el resultado de la degradación de glucógeno muscular causada por el estrés *antemortem*. El pronunciado aumento de creatinquinasa (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 la miopatía DFD es débil en comparación con una carne normal, aunque 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).

El pH de la carne es de gran importancia como 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 ternura, 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).

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 *postmortem*, en tanto que la carne de res alcanza estos mismo valores, 24 horas antes.

De 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 (Gallo y Tadich, 2005).

Por otro lado, la capacidad de retención de agua de la carne desciende al disminuir el pH debido a la disminución 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).

Por otro lado la terneza de la carne influye y puede ser definitoria o decisiva en grado de aceptación del 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 y Totosaus, 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).

La miopatía 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 Totosaus, 2006).

Por la flora microbiana contaminante, adicionalmente ésta carne, 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; Ylâ-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 tiende a metabolizar carbohidratos y proteínas, produciendo un olor desagradable (Prince et al., 1994; Guerrero-Legarreta y Totosaus, 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 Totosaus, 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 debían estudiarse más ampliamente en la carne de búfalo, 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). Esta característica organoléptica es similar a carnes procesadas con alto niveles de sodio y fosfato que dan un sabor parecido al que tiene la carne DFD (Calkins y Hodgen, 2007).

En lo que respecta a la textura y aspecto de la carne también están influenciados por los valores del pH final (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 (Prädli et al., 1994; Guerrero-Legarreta y Totosaus, 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 Totosaus, 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).

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 y sanitarias, 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.

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.

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 Totosaus, 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. 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 *antemortem* sobre la calidad de la carne.

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. En los resultados encontrados en 100 búfalos por Chandra y Das (2001b), destaca el reporte de 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.

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., 2019).

El transporte en muchas de las ocasiones en 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 m² /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 final 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 último 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 pHu 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 pHU, 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 pHu, puede ser una herramienta viable para evaluar el potencial de las canales para producir carne de corte oscuro.

Estrategias de implantación

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 último, 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 final 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, 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.

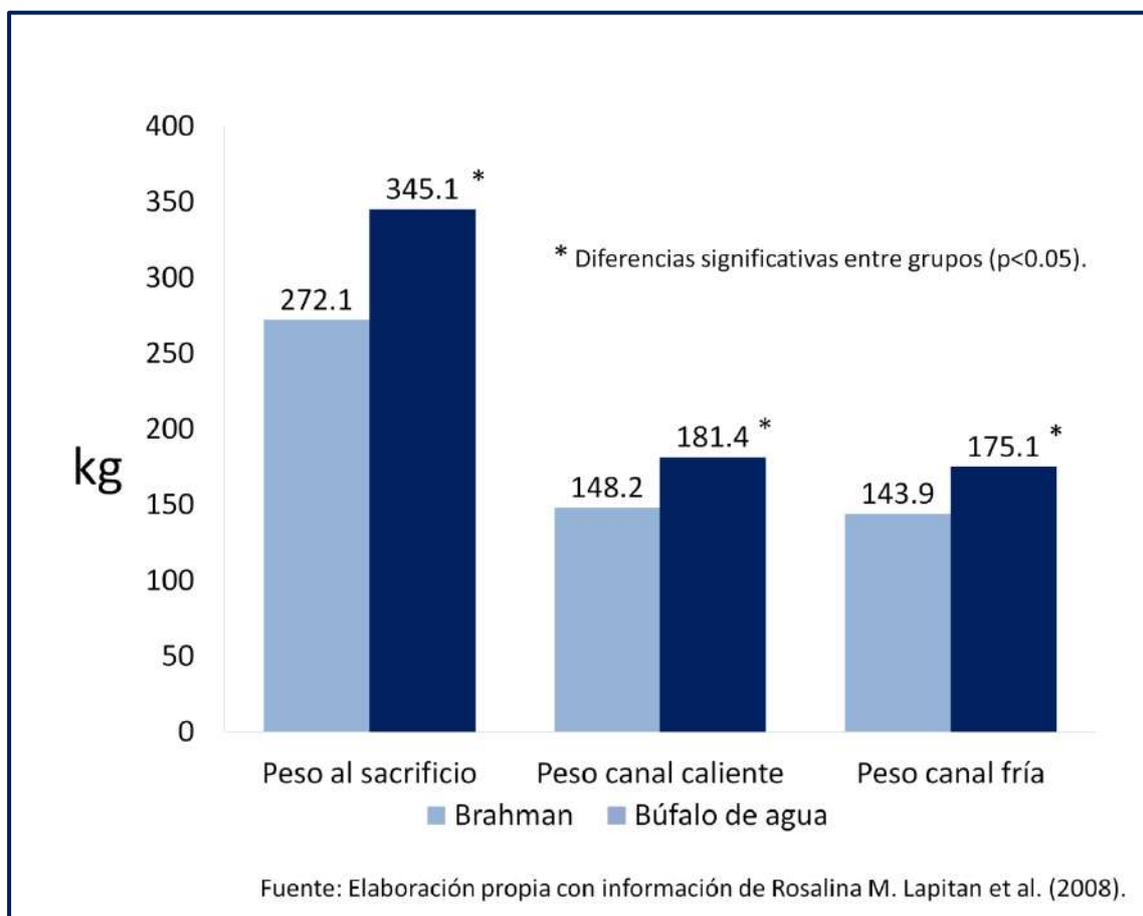
Por otro lado y sin lugar a dudas la genética, el género y la raza son elementos que influyen en la calidad de la canal.

A continuación te presentamos 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).

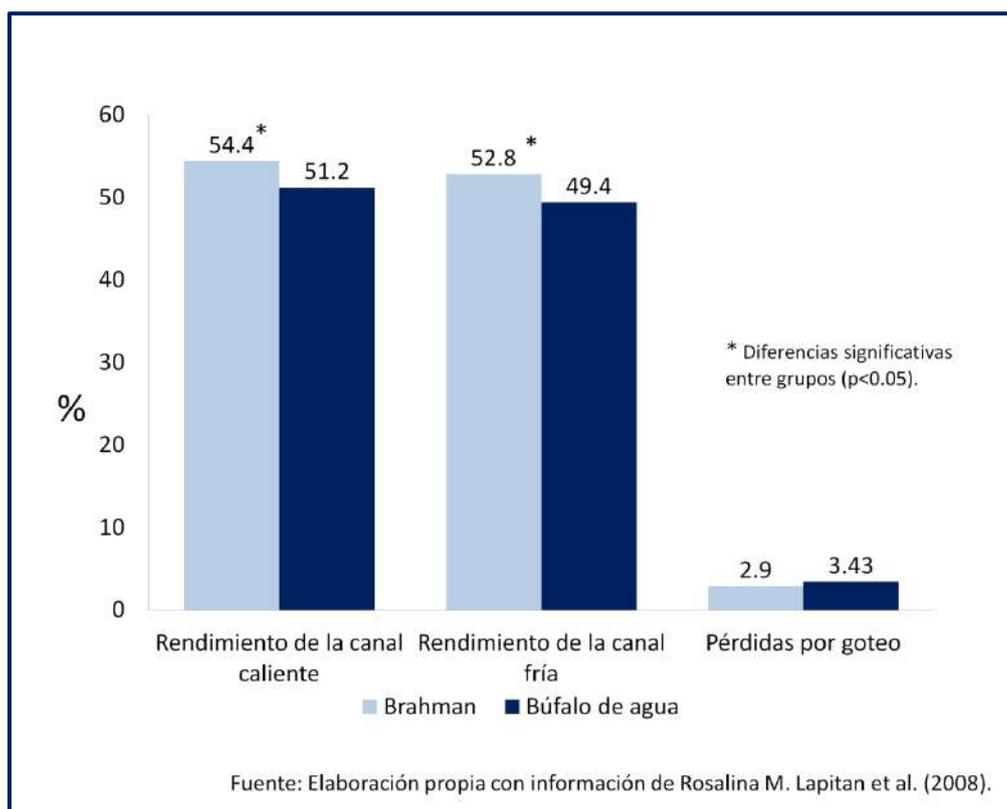
Figura 3. Composición de la canal caliente y fría, una comparación entre búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) y ganado bovino Brahman (*Bos indicus*)



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, 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, y Trujillo. BM Editores. México. p. 287-299.
- 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.
- 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., Totosaus, 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, I., Cruz-Monterrosa, I. Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Ramírez-Bribiesca, E., Bertoni, M.A. Berdugo-Gutiérrez, J., Braghieri, A., 2019b. River buffalo meat production and quality: sustainability, productivity, nutritional and sensory properties. *J. Buffalo Sci.* 9, 159-169.
- 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. Phys. 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. Degradación de pastagens: conceptos e métodos de recuperación. 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., Vaithyanathan, 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.* 108:156.
- 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., Emmett, 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.
- Ylä-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.

Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 22

Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la carne de búfalo de agua

Isabel Guerrero, Marcelo R. Rosmini, Daniel Mota, Juana Fernández-López, Rosy G. Cruz y José Ángel Pérez-Álvarez

INTRODUCCIÓN

Los sistemas alimentarios generalmente son heterogéneos con respecto a su composición y a sus constituyentes que interactúan entre sí, así como a la organización espacial y estructural de las moléculas que los componen. Los componentes químicos de los alimentos y la forma en que estos interactúan química, física y espacialmente, el contenido de agua, proteínas, grasas, carbohidratos y otros compuestos, aunado a la forma en que se arreglan sus moléculas con base en su ambiente eléctrico y tridimensional dan como resultado las características macroscópicas de los mismos y, por tanto, la capacidad de formar sistemas físicos, como geles, emulsiones, y espumas, entre otros. Esa capacidad macroscópica es a lo que se refieren las propiedades funcionales.

Entre las macromoléculas en los sistemas alimentarios -proteínas, carbohidratos y grasas- responsables en gran medida de las propiedades nutricionales que promueven el crecimiento y la mantención de la calidad

de vida. Además, imparten la base estructural de muchos alimentos debido a sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. Las carnes de animales de abasto, particularmente el músculo estriado, tienen un material altamente funcional, es decir, debido a su estructura y composición química pueden formar sistemas macroscópicos variados: emulsiones y geles en salchichas, espumas en productos finamente molidos, entre otros. A la vez, la carne no procesada muestra propiedades fisicoquímicas: color, textura, retención de agua, que en su conjunto son responsables de la calidad de la carne.

COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DEL MUSCULO 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 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 Totosaus, 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, 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%). (Ziauddin 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 muchos 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 proteico, 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 a su forma (globulares o fibrosas), localización celular (extracelulares, intracelulares) o solubilidad-función-localización (sarcolásicas, 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 la miofibrilla, 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 por interacciones electrostáticas o químicas. En el caso de las proteínas, las interacciones electrostáticas son: puentes de hidrógeno, puentes disulfuro, interacción electrostática, hidrofóbica y dipolo-dipolo, y las químicas son principalmente 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 y sabor.

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 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 et al., 2002; Guerrero y Totosaus, 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 ternura; 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.

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: condición fisiológica. Su evaluación 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.

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, 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 (Castigliego 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; extracción de pigmentos a partir de miofibrillas

homogenizadas; empleando espectrofotometría de absorción; espectrofotometría de reflectancia. Este último método es el más empleado para análisis de rutina en control de calidad.

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.

Irurueta et al. (2008), estudiaron carne de búfalos del Delta del Paraná, Argentina, mayormente de las razas Mediterránea y Murrah. Se midió 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.

Estos estudios permiten 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 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.

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 2). El presente capítulo también se refiere a las propiedades tecnofuncionales.

Cuadro 2. Clasificación de las propiedades funcionales

Propiedad Funcional	Tipo de propiedad	Ejemplos
Tecnofuncional	Solubilidad	Solubilidad Precipitación
	Reológicas	Espesante Gelificación Textura
	Surfactantes	Emulsificantes Espumantes
	Sensoriales	Sabores Aromas
Biofuncional	Nutricionales	Digestibilidad Actividad antimicrobiana Antioxidación

Debido a que los sistemas cárnicos están mayormente 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 3 enlista a las principales propiedades funcionales de las proteínas cárnicas.

Cuadro 3. 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 proteicas 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 isoeléctrico 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 proteicas 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 proteica 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 pimiento, 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, si bien a nivel industrial se emplean otros emulsificantes y estabilizantes de la emulsión (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”.

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.
- 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.
- Castigliero, 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.
- Cedrés, 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.
- Cofrades, S., Carballo, J., Careche, Jiménez-Colmenero F., 1996. Emulsifying properties of actomyosin from several species. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.*, 29:379-383.
- Damodaran, S., 2005. Protein Stabilization of emulsions and foams. *J. Food Sci.* 70(3), 54-66.
- 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_compositio_n.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., Totosaus, 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, I., Cruz-Monterrosa, I. Mota-Rojas, D., Mora-Medina, P., Ramírez-Bribiesca, E., Bertoni, M.A. Berdugo-Gutiérrez, J., Braghieri, A., 2019b. River buffalo meat production and quality: sustainability, productivity, nutritional and sensory properties. *J. Buffalo Sci.* 9, 159-169.
- 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.
- 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., Cruz, L.C., 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., Schuurbiers, 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, DJ., 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.
- 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.
- 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.
- 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.

Calidad de la carne de búfalo de agua: análisis nutricional, sensorial e inocuidad, conservación, empaçado y autenticidad

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 23

Calidad de la carne de búfalo de agua: análisis nutricional, sensorial e inocuidad, conservación, empacado y autenticidad

Isabel Guerrero, Rosy G. Cruz, Daniel Mota, José Ángel Pérez-Álvarez, Fabio Napolitano, Juana Fernández-López, Marcelo R. Rosmini, Efrén Ramírez-Bribiesca, Aldo Bertoni y Manuel Viuda-Martos

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 alimentos de mayor calidad nutricional, es la carne que, de igual manera, incrementará su consumo en los países en desarrollo a una tasa del 2.1% (FAO, 2015). De ahí que es imprescindible tener presente que el nuevo desafío para el sector agropecuario, entre otros, será el de incrementar 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 que, al parecer, tiene características que la hacen competitiva. Entre estas, destaca que la carne de búfalo presenta propiedades fisicoquímicas que la hacen más aceptable para el consumidor. Es más roja, el contenido de proteína es más alto que la de la res (Robertson et al., 1983) y su mayor proporción en grasa poliinsaturada supone un menor riesgo para la salud humana (Sharma, et al, 1986; Guerrero-Legarreta et al., 2019). La ternera de la carne de búfalo de agua, además, es más aceptable que la de razas cruzadas con cebú (*Bos indicus*) (Neath et al., 2007b). 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.

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 de corrales de engorde en Europa y en el continente americano. Así mismo, se describen algunas áreas de oportunidad en el estudio de la producción del búfalo de agua para el abasto de carne, y con ello se establecen las posibles líneas de investigación vinculadas con las unidades de producción, intercambiando 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). Siendo la carne 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, estos tienen una 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 de su tracto intestinal (Merle et al., 2004, Bertoni et al., 2019). Esto significa que los búfalos de agua pueden 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 (TDN), 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; por ejemplo, se han descrito ganancias de peso de 610 g/día con una eficiencia de alimentación de 7:1 con raciones integrales, usando un mínimo de 50% de concentrado (Hamid et al., 2016) o ganancia de 370 g/día con una eficiencia de alimentación de 10:1 cuando se usaron raciones con trébol de Alejandría (*Trifolium alexandrinum*) (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, principalmente, los alimentos proteicos y energéticos.

El nivel 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. Además, la energía y proteína de la dieta, influyen en la terneza de la carne, en 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 y porcentaje de 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 del 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 del rumen es más eficiente en los búfalos, que en los bovinos domésticos y, en consecuencia, los parámetros de fermentación ruminal son diferentes (Paul y Lal, 2010; Mendes y Lima, 2011). 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/kg energía metabolizable (EM) (Tauqir et al., 2011).

La población de algunas especies de bacterias y protozoarios en el rumen, varían de acuerdo con las características y condiciones de alimentación, siendo la microbiota del rumen mayor en los búfalos que en el ganado (Kala et al., 2017). Además, es conocida la asociación entre los aminoácidos de la proteína microbiana y los del tejido muscular (correlación de 0.83, $P < 0.003$) (NRC, 2001), lo que 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, con más profusión, 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

Para Kandeepan et al. (2013) las características principales de la carne de búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) que la hacen tan atractiva para los consumidores son, su color rojo intenso, un buen marmoleo, baja cantidad de tejido conjuntivo, una textura adecuada, un elevado contenido de proteínas y, desde el punto de vista industrial, una excelente capacidad de retención de agua y capacidad de emulsión. Desde un punto de vista comercial, 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. La literatura indica, además, que presenta 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 y esto se debe en gran 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 a 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 suele ser documentado en el caso de los búfalos es el estrés que experimentan los animales, previo al sacrificio, ya que éste es fundamental por su influencia sobre la calidad de la carne (**Figura 1**).

La cría de los búfalos se lleva a cabo, 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 generalmente, en sistemas de confinamiento, obteniendo muy 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 en la conducción de estos 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, así como 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 animal 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 o en 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 las lipoproteínas y el colesterol; mientras que la carne de búfalo fue más alta en los ácidos grasos C18:0 y el isómero del ácido linoleico (LA) el C18:1n9c. Cabe señalar que 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 una mayor concentración 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., 2019).

Con referencia al contenido en CLA, considerado como 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 la concentración 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 distribución lipídica es mayoritariamente 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 (Giuffrida de Mendoza et al., 2015). Se presenta 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 (PUFA) 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 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). Una posible línea de investigación a futuro sería, realizar estudios de biohidrogenación ruminal en los búfalos, así como el suministro de antioxidantes en las dietas a esta especie o directamente incluirlos en los empaques (biofilms) (Ruíz-Navajas et al., 2015) para incrementar 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).

Con referencia a las características histológicas de la masa muscular del búfalo, Naruani et al. (2013) encontraron que el diámetro de la fibra muscular está 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 vieron afectados por el sexo ni por la edad (Naruani et al., 2013).

Cabe señalar que 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.

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 también, podrían 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 empacado 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. Asimismo, en 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 nivel 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 ácido linoleico conjugado. 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 aminas biogénicas.

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 a nivel mundial 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., 2019). 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, con 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., 2019).

Otro factor limitante para la adquisición de la carne de búfalo es el precio de mercado. En el caso de Europa y América Latina, el precio de la carne de búfalo se comercializa en lugares focalizados, donde el turismo o un núcleo

de la sociedad de nivel medio a alto la puede comprar. 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 que, 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).

Varios 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 (PCRRFLP; 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 para indicar 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 a nivel 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 las 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

- 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-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.
- 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>

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., 2019. El búfalo de agua, versátil y rústico como productor de carne. Agro Meat Argentina. 1-10. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34340.73606>
- 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
- Kandeepan, 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](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>

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., UIHaq, 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., 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>

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

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>.

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., Vaithyanathan, 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., Vaithyanathan, 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- Delhi: 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 ternera 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>

Propiedades fisicoquímicas de la leche de búfala

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 24

Propiedades fisicoquímicas de la leche de búfala

César Lázaro de la Torre, Isabel Guerrero, Fabio Napolitano, Francesco Serrapica, Rosy G. Cruz y Daniel Mota

INTRODUCCIÓN

El presente capítulo tiene como finalidad brindar información sobre las propiedades físicoquímicas 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.

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).

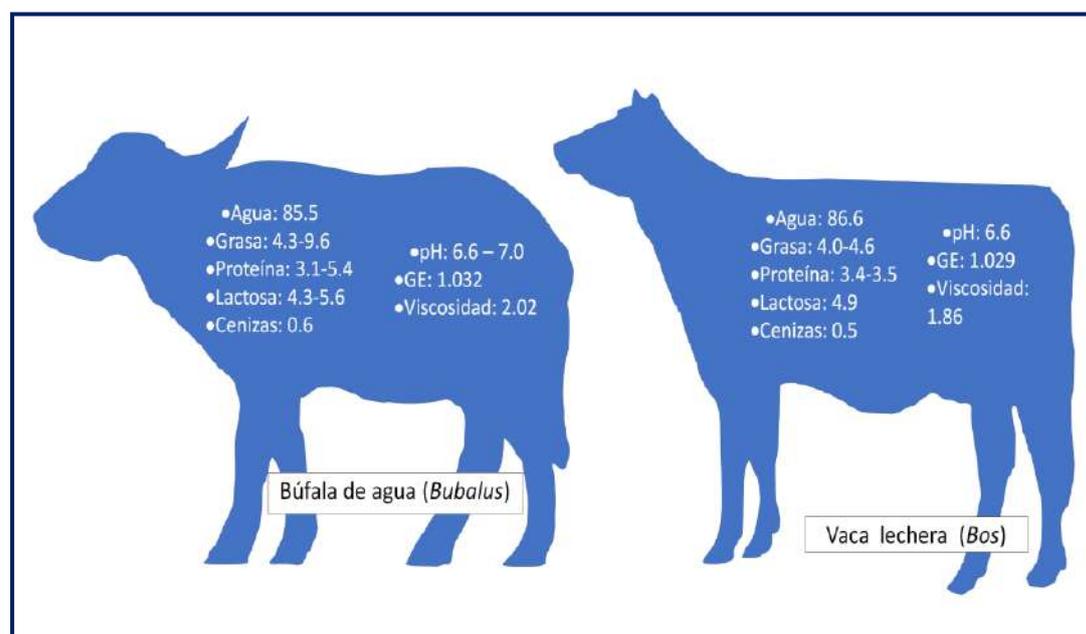
Los altos niveles de sólidos en la leche de búfala no solo la hacen ideal para su procesamiento y transformación en derivados lácteos, también economizan ciertos procesos tecnológicos. Así, al elaborar yogurt o queso no es necesario adicionar proteínas lácteas o agentes gelificantes para obtener un producto 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*.

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 búfalo de agua en Brasil (Sales et al., 2018), China (Zhou et al., 2018), Egipto (Elshagabee 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)

demonstraron 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 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 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. Así, 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*) 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.
- Elshaghabee, 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.

- 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.

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., Wadhvani, 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., Wadhvani, 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>

Queso mozzarella: inocuidad, adulteración, comercialización y perspectivas a futuro

BM EDITORES, 2019.





CAPÍTULO 25

Queso mozzarella: inocuidad, adulteración, comercialización y perspectivas a futuro

Fabio Napolitano, Daniel Mota, José Ángel Pérez-Álvarez, Isabel Guerrero, Corrado Pacelli, Juana Fernández-López, Rosy G. Cruz, César Lázaro de la Torre, Patricia Mora, Efrén Ramírez-Bribiesca, Belén Alavés y Manuel Viuda-Martos

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. 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.

Como se sabe, 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 un 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 *Lactococos* (*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 aureginosa</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>Lactococos (Lactococcus lactis)</i> y diversas lactobacilos mesófilos tales como <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Leuconostoc sp</i> , 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> enterotoxigénico, <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Mycobacterium bovis</i> , <i>Brucella spp.</i> , <i>Coxiella burnetti</i> entre otras (Oliver et al., 2009)

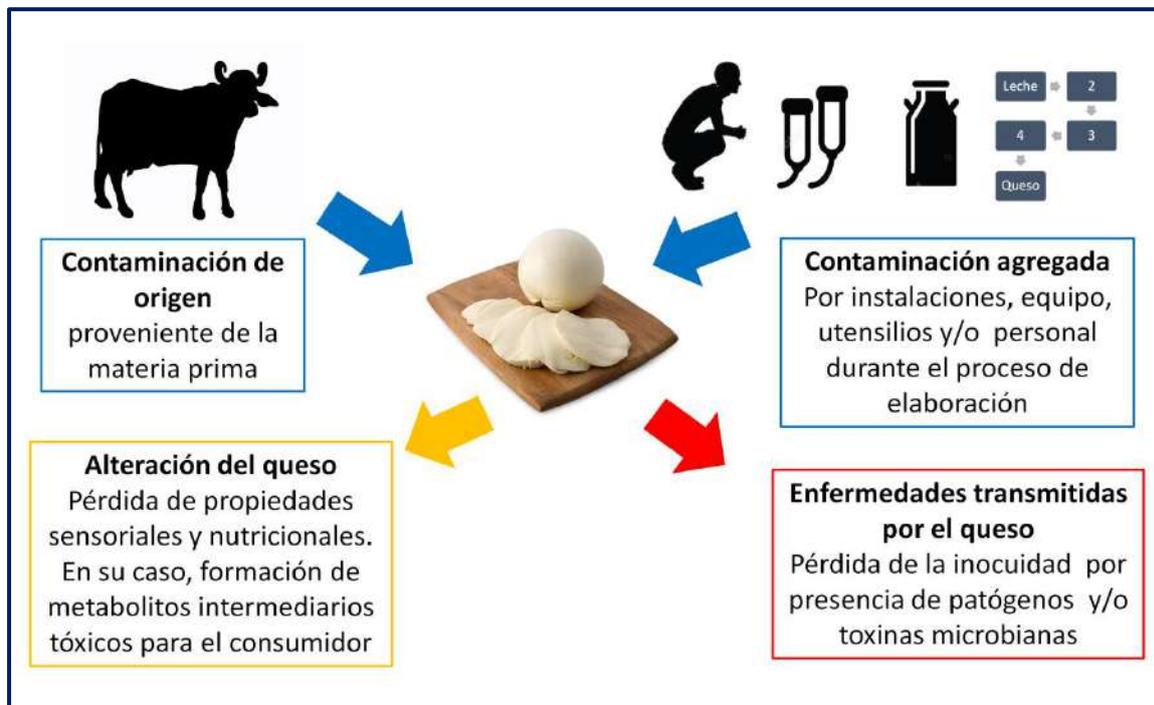
Ciertos microorganismos alterantes y patógenos, pueden estar presentes desde la materia prima leche (contaminación de origen) y aunque la

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 patógenos 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, Schlessler 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.

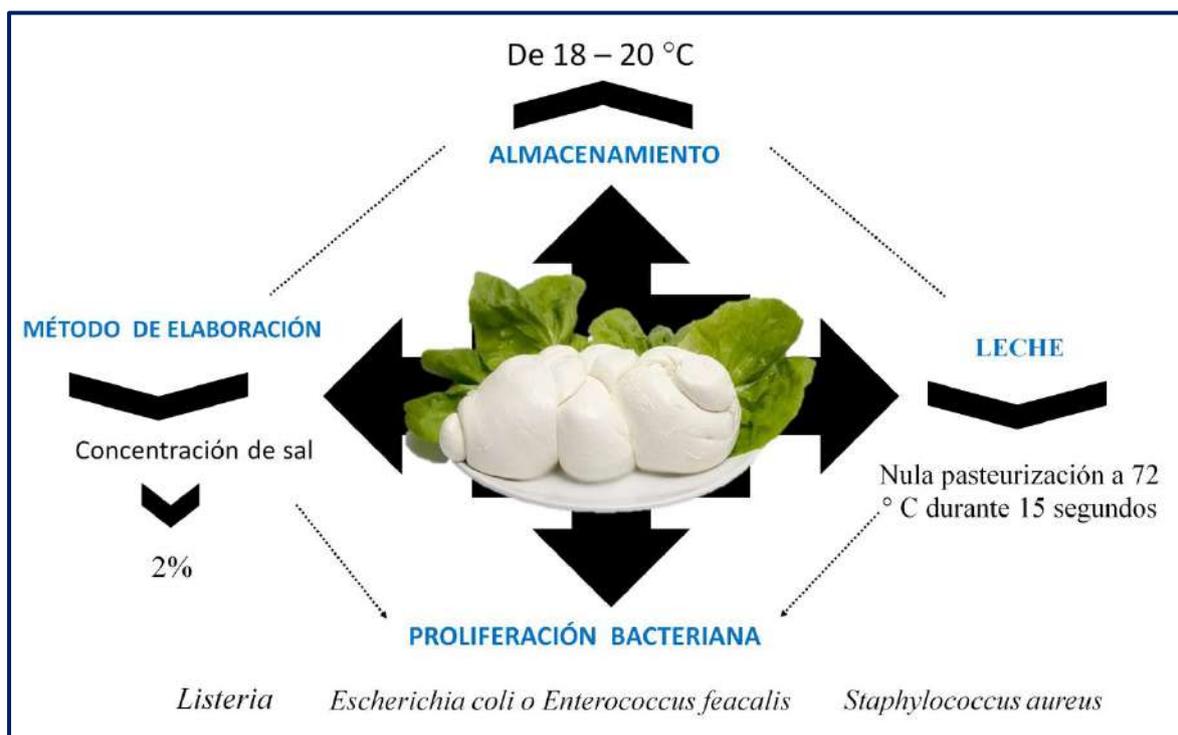
En cuanto a los quesos inoculados, la cantidad de microorganismos aumentaron 100 veces hasta los 90 días de almacenamiento. Lo cual pudo atribuirse a que los microorganismos tuvieron las condiciones microambientales favorables y el sustrato necesario para su reproducción, alcanzando grados de contaminación 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 isoelectrico, 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, Mafrá 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 1-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).

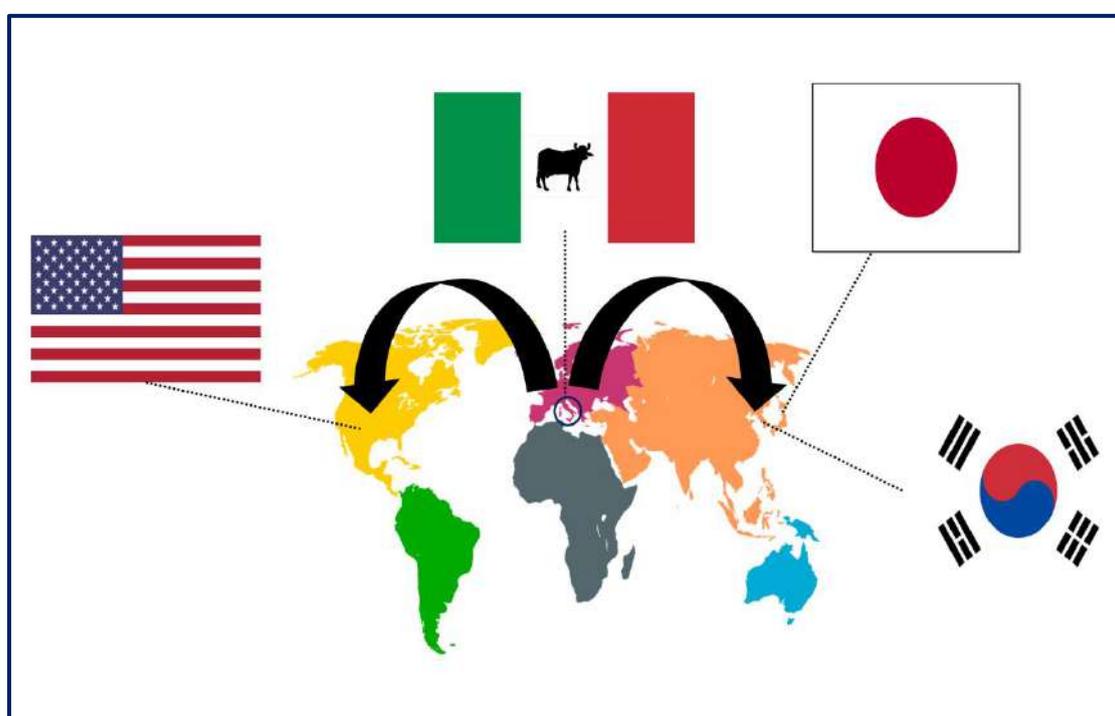
En el caso específico de Italia, este producto está dotado de atributos muy apreciados relacionados con la tradición, la experiencia artesanal y la cultura alimentaria. En 2015 se estimó la producción en Italia de 253,000 toneladas de queso mozzarella, con un consumo per cápita de 4.6 kg por año (Castrica 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 × 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., Panseri, 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 unity 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. Agricul. 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 Hillside 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>
- Gunning, Y., Fong, L.K., Watson, A.D., Philo, M., Kemsley, E.K., 2019. Quantitative authenticity testing of buffalo mozzarella via α 1-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, P.J., 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 microbiological 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/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>
- 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)
- Schlessler, 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/ricottachees.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>

EL BÚFALO DE AGUA EN LAS AMÉRICAS

enfoques prácticos y experimentales

Directores editoriales

2.^a edición

Isabel GUERRERO LEGARRETA



Daniel MOTA ROJAS



Fabio NAPOLITANO



Agustín ORIHUELA



E BOOK



El Búfalo de Agua en las Américas

enfoques prácticos y experimentales

Isabel GUERRERO L. — Fabio NAPOLITANO — Daniel MOTA R. — Agustín ORIHUELA

E BOOK



2^a
EDICIÓN

Prof. Fabio Napolitano PhD.

Prólogo (2019)

Profesor investigador de la Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, en Potenza, Italia. Experto Europeo en Búfalo de Agua. Editor en Jefe de la revista: **Journal of Buffalo Science** (Canadá).

Aprovecho para agradecer el valioso esfuerzo de éstos cuatro años de trabajo arduo de cada uno de los más de 50 autores de 14 países en beneficio de ésta nueva edición del libro y de sus lectores.

Envío mis mejores deseos de éxito para la difusión y promoción de ésta nueva gran obra !!!

Aunque menos cosmopolita que el ganado (*Bos indicus* y *Bos taurus*) (es decir, producido en un número menor de países), según la FAO, el número de **búfalos de agua** (*Bubalus bubalis*) ha aumentado más que el de ganado bovino (res) en los últimos 50 años.

Especialmente para los ganaderos, la menor morbilidad, la capacidad de utilizar de manera eficiente forrajes de baja calidad y la adaptabilidad a los ambientes tropicales representan los principales aspectos positivos y áreas de oportunidad para la crianza de esta especie. En otro sentido, los consumidores y empresarios se sienten atraídos por las características específicas de los productos y su correspondiente alto potencial de diferenciación, lo que puede favorecer una mayor satisfacción del cliente y la adquisición de cuotas de mercado adicionales.

ISBN: 978-607-99008-0-9



9 786079 900809



B.M. EDITORES®

