

EL BÚFALO DE AGUA

EN LAS

AMÉRICAS

Comportamiento y productividad



Fabio Napolitano • Daniel Mota Rojas • Agustín Orihuela
Ada Braghieri • Danilda Hufana-Duran • Ana Strappini
Alfredo MF Pereira • Marcelo Ghezzi • Isabel Guerrero
y Julio Martínez-Burnes

Editores



Editores



Prof. Dr. Fabio Napolitano (†). 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. Experto en comportamiento y bienestar del búfalo de agua. Hasta su lamentable fallecimiento hace unas semanas, fue Editor en Jefe de la revista **Journal of Buffalo Science**.

Dr. Daniel Mota-Rojas. Profesor Investigador en Comportamiento y Bienestar Animal. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), México. 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 de Revisores de la revista **Journal of Buffalo Science** (Canadá).



Co-editores



Prof. Dr. Agustín Orihuela. 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 (Investigador Nacional Emérito).

Prof. Dra. Ada Braghieri. Profesora investigadora titular en la Escuela de Ciencia Agrícola, Forestal, Alimentaria y Ambiental (SAFE), Università degli Studi della Basilicata (UNIBAS), Italia. Imparte cursos sobre evaluación sensorial de productos de origen animal y evaluación de la sostenibilidad ambiental de los sistemas de producción ganadera.



Dra. Danilda Hufana-Duran. Jefe de la Sección de Investigación en Reproducción y Fisiología del Departamento de Agricultura-Centro Carabao de Filipinas. Estudia la reproducción asistida y estrategias de sustentabilidad en búfalos de agua y ganado bovino.



Dra. Ana Carolina Strappini. Investigadora Senior del Departamento Animal Health & Welfare de la Universidad de Wageningen, Países Bajos. Es Profesora Adjunta *ad honorem*, Instituto de Ciencia Animal, Universidad Austral de Chile, Chile.



Prof. Dr. Alfredo M.F. Pereira. Profesor titular del Departamento de Ciencia Animal de la Universidad de Évora, Portugal. Es profesor invitado de la Universidad de São Paulo, Brasil, e imparte cursos de posgrado en el área de bioclimatología y adaptación animal con énfasis en búfalo de agua.



Prof. Dr. Marcelo Daniel Ghezzi. Profesor Titular de Anatomía Veterinaria y Coordinador del Área Bienestar Animal-Producción Bovina-Bufalina, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina.



Prof. Dra. Isabel Guerrero Legarreta. Profesora Investigadora, Emérita y Distinguida. Departamento de Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), México. Campus Iztapalapa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT en México (nivel III). Experta en ciencia de los alimentos y bienestar del búfalo de agua.



Prof. Dr. Julio Martínez-Burnes. Profesor Emérito de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México. Miembro de la Academia Veterinaria Mexicana. Ha impartido cátedra de Patología General y Patología Sistémica en Licenciatura y Posgrado.



Professor Fabio Napolitano – 1963 - 2022

Fabio Napolitano was full Professor at the School of Agriculture, Food, Forestry and Environmental Sciences ([University of Basilicata, Italy](#)) and Coordinator of the PhD course in Agricultural, Forest and Food Sciences. At the same University, Fabio started his academic career as researcher in 1995. He was involved in several projects concerning animal behaviour (regional and national level) and animal welfare (national and international level), and in particular on [Mediterranean Italian buffaloes](#).

He has been nominated member of the scientific committee of external reviewers by the European Food Safety Authority (EFSA) for the period 2009-2011 and contributed to draft the external reviews of the quality of the scientific outputs of EFSA. He has been nominated member of the working group on sheep welfare by EFSA in 2013 and contributed to draft and publish a “Scientific Opinion on the welfare risks related to the farming of sheep for wool, meat and milk production” and a Technical Report titled: “Outcome of a public consultation on the Draft Scientific Opinion of the EFSA Panel on Animal Health and Welfare on the welfare risks related to the farming of sheep for wool, meat and milk production”. He has been nominated member of the working group on Animal-based measures (ABMs) gap analysis and contributed to draft and publish a Technical Report titled: “The use of animal-based measures to assess animal welfare in EU - state of the art of 10 years of activities and analysis of gaps.

He has been nominated expert evaluator for the calls of the Societal Challenge of Horizon 2020.

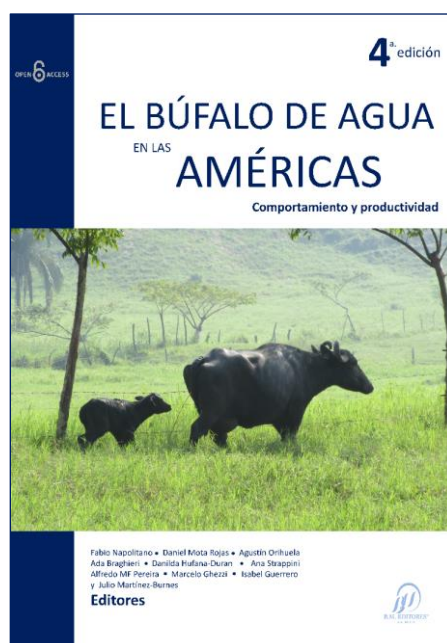
He was member of the editorial board of the journals “Animals” (MDPI), “Journal of Food Quality” (Hindawi), and “International Journal of Food Studies” (ISEKI_Food Association), Editor in chief of the third Edition of the book “[Water buffalo in the Americas](#)” and Editor in chief of the “[Journal of Buffalo Science](#)” (LifeScience Global, Canada).

In 2021 he was included in the "career" and "single year" categories of the "Updated science-wide author databases of standardized citation indicators", published by Stanford University. He was author of 150 indexed scientific articles, with 3,150 citations and an h-index of 33.

[Fabio was a recognized pioneer of the study of buffalo behaviour and welfare](#). He had the gift of conversing to everyone as an equal, Fabio was not a man who put on airs or thought he was superior to others. We will miss his smiles, cheerful advices, availability and scientific expertise. His way of approaching life will be impressed in our minds for ever.

CAPÍTULO 34

BIENESTAR DEL BÚFALO DE AGUA, BOVINO EUROPEO Y BOVINO ÍNDICO EN RESPUESTA A LA SOMBRA NATURAL Y ARTIFICIAL: ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES, FISIOLÓGICOS Y CONDUCTUALES



EL BÚFALO DE AGUA EN LAS AMÉRICAS

4ª. Edición





CAPÍTULO 34

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

Daniel Mota-Rojas¹, Alsaied Alnaimy Habeeb², Fabio Napolitano³, Juliana Sarubbi⁴, Marcelo Ghezzi⁵, María Carolina Ceriani⁶, Alex Cuius⁷, Ada Braghieri³, Pamela Lendez⁶, Gabriela Marcela Martínez⁸, Adriana Domínguez¹, Andrea Bragaglio⁹, P. Ravi Kanth Reddy¹⁰

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

²Biological Applications Department, Radioisotopes Applications Division, Nuclear Research Center, Atomic Energy Authority, Inshas, Cairo, Egypt.

³Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

⁴Departamento de Zootecnia y Ciencias Biológicas de la Universidad Federal de Santa María (UFESM) y Coordinadora del Laboratorio Ambiente y Bienestar Animal (UFESM). Brasil.

⁵Área Bienestar Animal-Producción Bovinos, en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina.

⁶Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Tandil, Veterinary Research Center (CIVETAN), CONICET-CICPBA, Tandil, Argentina.

⁷Faculty of Animal Science and Biotechnologies. University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine of Cluj-Napoca, Romania.

⁸Manejo de Sistemas Ganaderos, Universidad Nacional de Salta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en la Estación Experimental de Salta. Argentina.

⁹Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA), Research Centre for Engineering and Food Processing, Treviglio, Italy.

¹⁰Animal Husbandry Department, Veterinary Dispensary, Taticherla, Prakasam District. Andhra Pradesh, India.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales retos dentro de los sistemas de producción de los *Bovidae*, búfalo de agua (*Bubalus bubalis*), Bovino Europeo (*Bos taurus*) y Bovino Índico (*Bos indicus*) es el incremento en la temperatura ambiental por efecto del cambio climático (Mota-Rojas et al., 2021a,b,c,d; Mota-Rojas et al., 2022a,b; Napolitano et al., 2023a,b). El término estrés describe los cambios fisiológicos y de comportamiento de un organismo con el fin de regresar a la homeostasis (Manteca et al., 2013; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; Mota-Rojas

et al., 2020a,b; Napolitano et al., 2020; 2022). Aunque dichos cambios se pueden considerar adaptaciones con beneficios hacia los animales (Guerrero-Legarreta et al., 2019; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; Mota-Rojas et al., 2020a,b), cuando se mantienen por periodos prolongados de tiempo conllevan repercusiones en la producción, salud y bienestar de los bovinos (Le Fevre et al., 2003; St-Pierre et al., 2003; Brown y Vosloo, 2017; Foust y Headlee, 2017).

Diversos factores del ambiente físico se relacionan con el estrés calórico además del incremento en la temperatura ambiental (Chen et al., 2020). Ejemplo de estos son la humedad relativa alta, baja velocidad del viento y elevada radiación solar (Armstrong, 1994; Nidumolu et al., 2010; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; Mota-Rojas et al., 2020a,b). De igual forma, el no brindar a los animales un ambiente propicio para termorregular (p. ej., no brindar charcas a los búfalos de agua) los hace susceptibles al estrés por calor (Bertoni et al., 2021; Mota-Rojas et al., 2021b,c,d,e,f; Mota-Rojas et al., 2022a,b). Aunque actualmente se recomienda el manejo genético de animales resistentes a altas temperaturas (Barman et al., 2017; Cooke et al., 2020), una de las alternativas que se ha propuesto es la implementación de sombra dentro de los potreros (Glauber y Ghezzi, 2015).

El proveer sombras naturales (p. ej., árboles o arbustos) o artificiales a los animales ha mostrado beneficios como disminuir la temperatura (Koga et al., 2007; Kamal et al., 2015) e incrementar el consumo de alimento, ya que la hiporexia se relaciona al estrés por calor debido a que el organismo previene la formación de calor metabólico con el consumo de alimentos (Gallosó-Hernández et al., 2020; Silva et al., 2022). En contraste, incrementos en la ingesta de agua y en cambios de comportamiento y postura como estirar las extremidades o mantenerse más tiempo de pie son medios para maximizar la disipación de calor (Amit et al., 2021; Gallosó, 2021). No obstante, el diseño de la sombra, el material y el tipo de sistema productivo influyen en el efecto que la sombra pueda tener en los animales (Marai y Haebe, 2010a; Gallosó-Hernández et al., 2020, 2021;). Por ello, el objetivo de este capítulo es analizar y discutir el efecto que el estrés calórico genera en los bovinos, y los beneficios que los tipos de sombra natural y artificial tienen 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*.

2. 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 habituación a los diversos factores estresantes de su ambiente, sin embargo, cuando se exceden dichos rangos, el organismo reacciona tratando de volver a estar en equilibrio u homeostasis (Martínez et al., 2016).

El estrés por calor se define como la suma de las fuerzas externas que actúan sobre un animal y que traen previstos cambios en el comportamiento, un aumento de la temperatura corporal y provocan una respuesta fisiológica manifestada fundamentalmente en un aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria (Dikmen y Hansen 2009). A su vez, conlleva

a la activación de los sistemas neuronales y neurohormonales. El grado de estimulación de estos sistemas determina la intensidad de la respuesta al estrés, así como las consecuencias que traen al organismo (Adamczyk et al., 2015).

Dentro de las consecuencias asociadas al estrés térmico debido a altas temperaturas se citan una disminución en el consumo de alimento y un incremento en la ingesta de agua. A su vez, los animales suelen permanecer más tiempo de pie en lugar de acostados, aumentan la tasa de respiración y la temperatura corporal; y en los casos más graves pueden morir (Nardone et al., 2006; Theurer et al., 2014). Cabe destacar que todos estos mecanismos representan en esencia una estrategia del organismo para mitigar el estrés y tender al equilibrio (Johnson, 1980).

Se ha determinado que en general, los bovinos pueden perder calor a través de mecanismos de conducción, convección y radiación transmitiendo la energía calórica hacia el ambiente. Sin embargo, en las vacas lecheras, al igual que en otros animales, cuando la temperatura ambiental supera la temperatura corporal, la eficiencia para perder calor por esos mecanismos disminuye. En los mamíferos se activan las rutas fisiológicas para el intercambio de calor a través de la sudoración y el jadeo. Pese a ello, no resulta ser eficiente y ante ello, de forma adicional se realizan estrategias alternas de tipo fisiológico, conductual y metabólica (Roth, 2020). Además, se ha demostrado que el estrés por calor afecta la expresión génica de ciertas citoquinas y de sus receptores y, en consecuencia, al sistema inmune de estos animales (Lendez et al., 2020; Lendez et al., 2021).

El impacto del estrés por calor tiene efecto sobre las glándulas endocrinas y de este modo se promueve la liberación de cortisol, catecolaminas, e inhibe las hormonas tiroideas, tiroxina y triyodotironina, y la hormona del crecimiento (Arias et al., 2008). Del mismo modo, la noradrenalina y la adrenalina pueden elevar sus concentraciones por exposición prolongada al calor ambiental (Aggarwal y Upadhyay, 2013).

Partiendo de ello, la evaluación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (**Figura 1**) ha contribuido a un mejor entendimiento de los efectos ante el estrés por calor. Entre los efectos fisiometabólicos se eleva la concentración de cortisol, el cual es liberado de la corteza adrenal hacia la circulación sanguínea y de ahí a los órganos y tejidos blanco (Brown y Vosloo, 2017) en donde ejerce su función catabólica de los carbohidratos, con el objetivo de contar con energía para afrontar el estresor ambiental.

Tras las altas temperaturas ambientales, se activa el eje hipotálamo-hipófisis-adrenal, cuyo efecto reside en la liberación de neurotransmisores como la hormona liberadora de hormona adrenocorticotropa (CRH) en las terminaciones nerviosas de las neuronas, las cuales se distribuyen en todo el cerebro, desde el rombo encefálico hasta el hipotálamo. En el hipotálamo, la estimulación de las neuronas provoca en la eminencia media, la liberación de CRH, que continúa por circulación hacia la adenohipófisis o hipófisis anterior.

En este órgano, la CRH estimula la secreción de hormona adrenocorticotrópica (ACTH); posteriormente, la ACTH ingresa a circulación general actuando sobre la corteza adrenal para estimular la secreción de glucocorticoides (Mohankumar et al., 2012). Sin embargo, paralelamente, la activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal, ejerce un efecto inhibitorio 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 inhibitorio sobre la secreción de la hormona luteinizante (LH) a partir de la glándula hipófisis y estradiol del ovario, provocando un efecto inhibitorio del estradiol en los tejidos diana o blanco para esta hormona (Huber et al., 2020) (Figura 1).

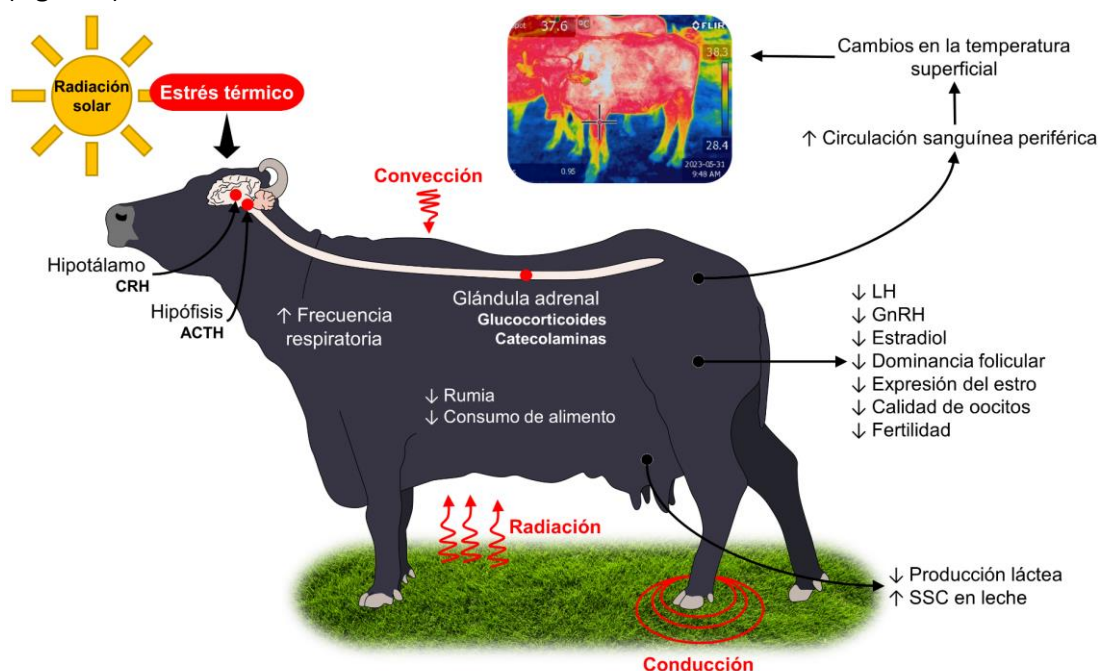


Figura 1. Respuesta fisiológica ante el estrés por calor. Factores ambientales como la radiación solar directa generan estrés calórico en los animales por la radiación, conducción, y convección del calor del ambiente hacia el animal. Este tipo de estrés activa principalmente el eje hipotálamo-hipófisis-adrenal, con la consecuente liberación de CRH, ACTH y la producción de glucocorticoides y catecolaminas. A nivel fisiológico, reproductivo y productivo se observan cambios como una baja en la fertilidad, menor producción lechera, y alteraciones fisiológicas para compensar el incremento en la temperatura corporal.

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).

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). Por otro lado, Lendez et al. (2020;2021); demostraron que el estrés por calor disminuye la expresión de ARNm de TNF- α y sus receptores en las vacas lecheras expuestas a condiciones ambientales similares a 8.5 ± 1.09 h diarias con una THI >68. Los animales no adaptados fisiológicamente a las altas temperaturas tienen una menor expresión de TNF- α y de sus receptores, lo que se traduce en una respuesta inmune menos eficiente y, por lo tanto, estos animales podrían ser más susceptibles a enfermedades oportunistas (Lendez et al., 2020; Lendez et al., 2021).

3. PÉRDIDA DE CALOR CORPORAL FRENTE AL FRIO

El enfriamiento por evaporación se lleva a cabo principalmente a través de la sudoración, aunque en mamíferos no humanos existen otros mecanismos para generar un enfriamiento por evaporación, los cuales sufren modificaciones de acuerdo con la especie; ejemplos de estos mecanismos son la salivación y propagación de la saliva en toda la superficie cutánea o el pelo, así como la evaporación a través del jadeo que se genera desde el tracto respiratorio (Morrison, 2011).

En 1998 se realizó un estudio comparativo entre un estado normotérmico e hipertérmico para determinar la actividad simpática en estos estados y se encontró que dentro de un estado hipertérmico la actividad sudomotora aumenta en un 80%, denotando su predominancia en tales condiciones; es decir que el enfriamiento por evaporación representa el principal mecanismo para disipar el calor (Sugenoya et al., 1998). Sin embargo, frente a climas con temperaturas de congelación o bajo cero, los búfalos de agua han desarrollado mecanismos para evitar perder calor y mantener la termoneutralidad, como es el crecimiento de pelo fino durante el invierno europeo (**Figura 2**).

4. EFECTO 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 (Wolfenson et al., 1995; Schüller et al., 2016). 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 ejerce un impacto negativo sobre la involución mamaria al atenuar la apoptosis mamaria y la actividad autofágica, provocando una reducción en la proliferación celular e 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).

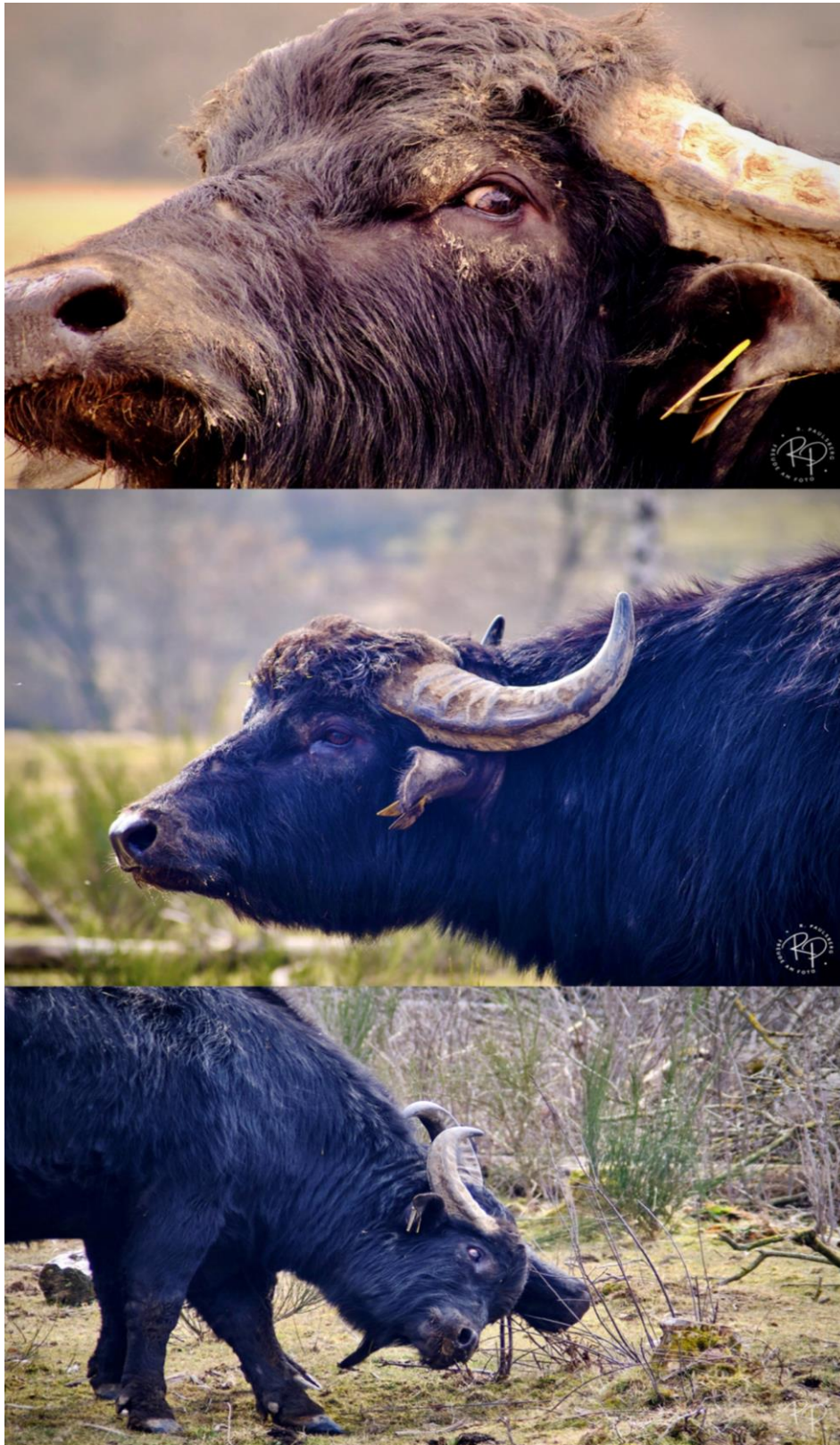


Figura 2. Búfalos de agua en la región de Vulkaneifel, Alemania durante la época invernal.
(Fotografías cortesía de Ralf Paulsberg, Alemania).

Efecto del estrés térmico en machos

De acuerdo con Morrell (2020), la temperatura testicular de los machos debe mantenerse en 32°C para asegurar una espermatogénesis normal. De esta forma el impacto del estrés por calor puede influir en el volumen de eyaculación, en la concentración de hormonas sexuales, la espermatogénesis e incrementar las anormalidades en los espermatozoides (Ahmad Para et al., 2018). En este sentido Llamas Luñero et al. (2020) analizaron el 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).

3. INVESTIGACIONES RECIENTES SOBRE EL USO DE LA SOMBRA EN EL BÚFALO DE AGUA

El búfalo de agua se adapta bien a los climas con altas temperaturas ambientales siempre y cuando puedan refrescarse en charcos de agua; sin embargo, cuando carecen de ellos, son altamente sensibles a los efectos de las temperaturas ambientales elevadas, debido a que anatomo-fisiológicamente los búfalos presentan una escasa densidad de glándulas sudoríparas en la piel (Marai y Haezeb, 2010a). Además, estos animales son sensibles al estrés por calor cuando la radiación de calor corporal absorbida es mayor que su disipación, comprometiendo tanto la producción, reproducción (Marai y Haezeb, 2010b) rendimiento y sobre todo el bienestar e inclusive, en casos extremos la vida de los búfalos de agua (Armstrong, 1994; Gu et al., 2016) y de otros bovinos (De Rensis y Scaramuzzi, 2003). Sin embargo, a pesar de que los búfalos de agua en regiones tropicales presentan un sistema termorregulador ineficiente al calor extremo, al igual que los bovinos lecheros y ganado de engorde (*Bos taurus*), tienen ventajas como lo es la presencia escasa de pelo y mayor grosor de la capa superficial de la piel (epidermis), con altas concentraciones de melanina, lo cual le permite absorber el calor que le proporciona el característico color negro a los búfalos (Mota-Rojas et al., 2021a,b,c; Mota-Rojas et al., 2022a,b). 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; Mota-Rojas et al., 2021a,b,c; Mota-Rojas et al., 2022 a,b).

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). De igual forma, el proveer techos ha mostrado reducir la temperatura del potrero hasta por 5°C (Tikul y Prachum, 2022).

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 3**, hay un marcado contraste en la respuesta termográfica del búfalo de agua por efecto de la radiación solar vs. la sombra natural, cuando se comparan los termogramas y los gráficos de temperatura corporal.

En la imagen termográfica **A**, se presentan los valores de la temperatura superficial en la región lateral, expresando una temperatura mínima de 32.4°C. En la gráfica **B**, se distingue el descenso de 4.9°C en los búfalos de agua expuestos a sombra artificial, en contraste con los búfalos expuestos a radiación solar directa, mientras que en la imagen **C**, se indica la temperatura de la región lateral del búfalo de agua bajo techo artificial cuando la temperatura ambiente es de 39°C. Cabe hacer notar que la temperatura superficial promedio en esta región corporal es de 29.0°C. Asimismo, en la imagen **D**, se puede identificar la temperatura del morro bajo la exposición directa al sol con un promedio de 36°C, mientras en la imagen **F**, en esta misma región anatómica, bajo la sombra artificial la temperatura es de 32.3°C, que en comparativa se muestran en la gráfica **E**. Por otro lado, los termogramas (**G**, **I**) presentan la temperatura de la carúncula lagrimal de 36.3 y 34.3°C, en condiciones de radiación solar directa en contraste con la sombra artificial, respectivamente. En la gráfica **H**, se indica como los búfalos de agua expuestos a radiación solar directa, muestran un incremento de 2°C en comparación con los mantenidos bajo sombra artificial. Al comparar estas ventanas térmicas en ambas condiciones, los resultados preliminares indican que los búfalos de agua mantenidos bajo sombra artificial muestran marcados descensos de la temperatura corporal superficial en diferentes regiones, lo que supone una alternativa viable para reducir el estrés por calor de los búfalos de agua en ambientes tropicales húmedos de Latinoamérica (Bertoni et al., 2019). Con ello, los animales estarían siendo eficientes biológica y productivamente.

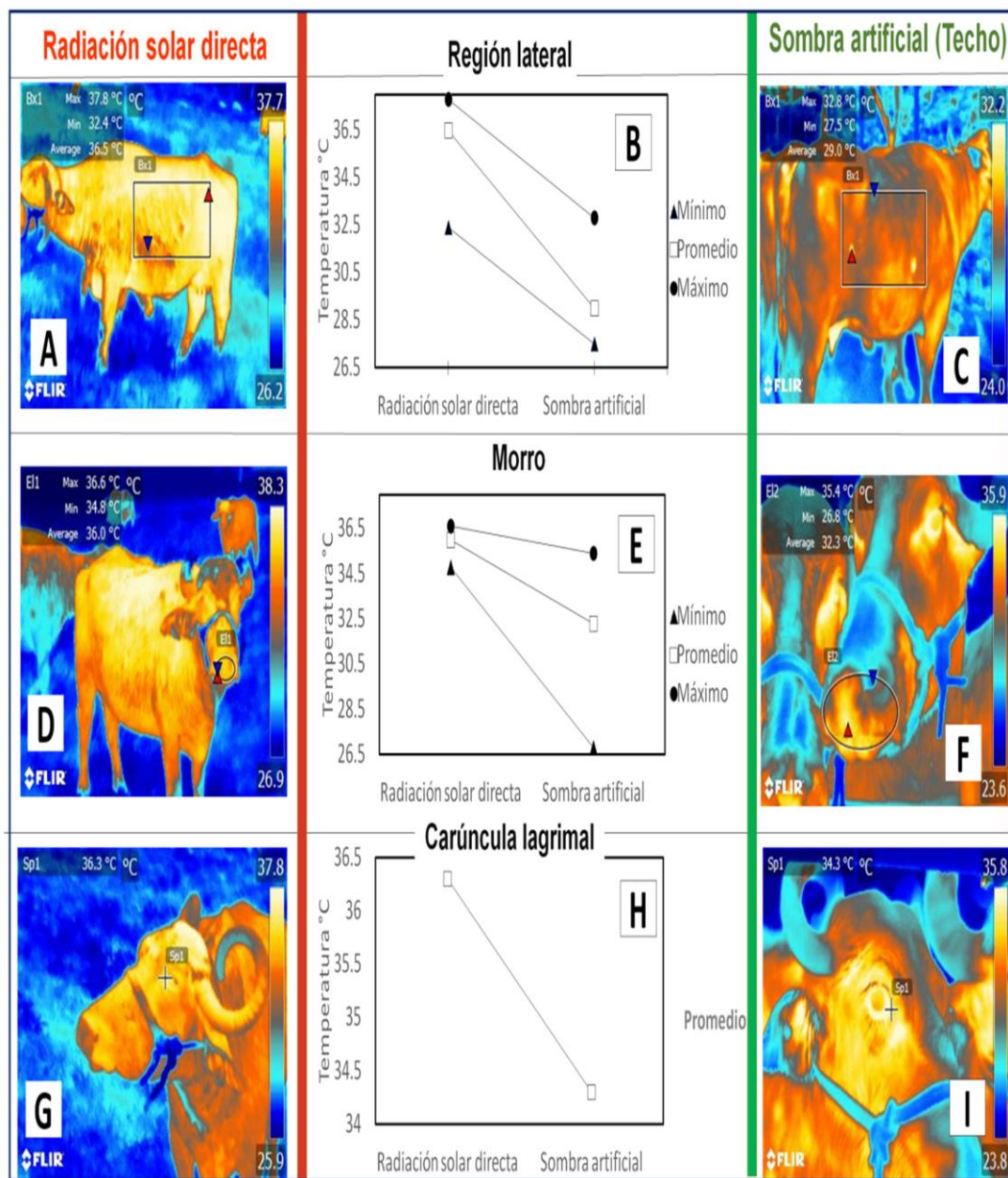


Figura 3. Comparación de los cambios microcirculatorios de diferentes ventanas térmicas en el búfalo de agua. En las diferentes imágenes, se muestran los desbalances en la temperatura superficial dérmica, detectados por medio de equipo de termografía infrarroja (IRT) en búfalos de agua bajo condiciones de radiación solar directa y bajo la sombra artificial en el trópico húmedo latinoamericano (Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; Mota-Rojas et al., 2020a,b; Mota-Rojas et al., 2022a,b).

Por otro lado, el estrés calórico ejercido por el ambiente también repercute sobre el perfil endocrino de los animales y esto, a su vez, en la productividad de carne y/o leche debido a que el metabolismo del animal se ve alterado. Búfalos lecheros de la raza Murrah mantenidos en alojamientos sombreados en el día y a la intemperie durante la noche, a los

cuales se les administra alimento durante la temporada de verano, tienen mayor producción de leche que en alojamientos con dispositivos de enfriamiento inadecuados. Por ello, Khongdee et al. (2013), estudiaron el efecto de la modificación del techo sobre las condiciones ambientales durante la temporada de verano en Tailandia. Estos investigadores encontraron que un establo al aire libre con un tipo de cobertizo abierto orientado en dirección Este-Oeste y con el frente orientado al norte, equipado con lámina acanalada de acero (punto más alto de 4 m de altura sobre el suelo con una pendiente de 0,375 m/m) y colocando un malla sombra (WpSC0 con 80% de sombra) a 100 cm por encima de la lámina acanalada y permitiendo la ventilación; disminuye la temperatura ambiente y el índice de temperatura-humedad (THI) en el cobertizo; reduciendo el estrés calórico en los búfalos jóvenes.

Por otro lado, los investigadores recomiendan utilizar malla sombra en unidades de pequeños productores por ser económica. En cuanto a las respuestas fisiológicas y el rendimiento en el crecimiento de búfalos machos jóvenes (*Bubalus bubalis*), estos mismos investigadores encontraron una disminución significativa en al menos un grado de temperatura corporal (rectal) en los animales, 5 litros menos de ingestión de agua (29.71 ± 0.86 vs. 34.14 ± 1.06 litros/cabeza/día, respectivamente) ($P < 0.01$) y menor concentración de los niveles de cortisol (2.14 ± 0.24 vs. 3.38 ± 0.37 ng/ml) ($P < 0.01$), cuando se mantenían bajo los techos adaptados con malla sombra, en comparación con aquellos búfalos bajo los techos de lámina acanalada (Khongdee et al., 2013).

En cuanto al material para construir las sombras Barman et al. (2017), encontraron que el mejor material es hacer un techo de polietileno cubierto con paja, en comparación con sombras hechas con láminas de asbesto, lámina acanalada prepintada y techo lámina galvanizada, evaluando el rendimiento en terneros de búfalo post-calostrosados 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.

4. 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) alojadas bajo condiciones de sistema silvopastoril, en contraste con un sistema de monocultivo ha sido estudiado a través de la termografía infrarroja en dos regiones anatómicas: dorso y tronco. Los resultados exhibieron temperaturas superficiales más bajas en el dorso ($31.9 \pm 0.2^\circ\text{C}$) y en el tronco ($32.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$) en animales alojados bajo

condiciones de silvopastoreo, en contraste con los sistemas de monocultivo al mostrar 32.8 ± 0.2 °C en dorso y 32.5 ± 0.1 °C en tronco (Giro et al., 2019) (**Figura 4**).

Exposición a radiación solar directa

- Índice de temperatura-humedad (THI): 83.77 ± 4.10 (sistema monocultivo)
- Temperatura superficial del dorso: 32.8 ± 0.2 °C
- Frecuencia respiratoria: 74 ± 22 rpm
- Ganancia de peso vivo: 452 g/día

Efecto de la sombra natural/artificial

- Índice de temperatura-humedad (THI): 81.98 ± 3.45 (sistema silvopastoril)
- Temperatura superficial del dorso: 31.9 ± 0.2 °C
- Frecuencia respiratoria: 61 ± 12 rpm
- Ganancia de peso vivo: 512 g/día

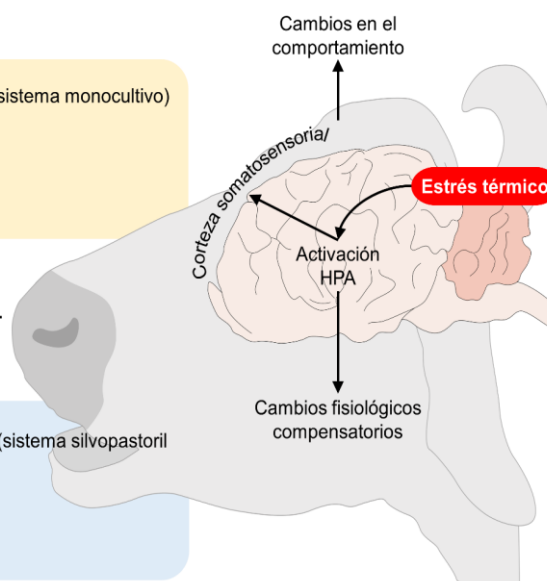


Figura 4. Comparación del efecto de la sombra natural sobre la exposición directa al sol. Obsérvese la disminución del THI bajo el efecto de la sombra (Améndola et al., 2019), además de proporcionar una reducción en la temperatura superficial del individuo (Giro et al., 2019), ejerce un efecto en el cuerpo del bovino al mitigar el estrés por calor, ante la disminución de la frecuencia respiratoria (Rovira y Velazco, 2010). 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).

Por otra parte, Foust y Headlee (2017), estudiaron en vacas gestantes *Bos indicus* de 4 a 12 años de edad los efectos en la diferencia en la temperatura y el índice de carga calórica (ICC) experimentado bajo la sombra dada por los árboles en comparación con la exposición directa al sol, tratando de determinar cómo es que la temperatura se modifica con el uso de los árboles para otorgar sombra a lo largo del día. La exposición al calor fue determinada mediante la temperatura del globo negro (BGT) que consiste en la temperatura dentro de un globo de cobre que ha sido pintado de negro para maximizar la absorción de calor, colocados en cada árbol y en la zona no sombreada. Asimismo, la temperatura ambiental se registró mediante la captura de imágenes entre las 6:00 y 22:00 horas.

Los resultados de temperatura del globo negro sin sombra fueron significativamente mayores (4.1 a 6.5 °C) a lo largo del día, cuya temperatura máxima alcanzó los 41.3 °C en promedio a las 14:00 horas, mientras que la BGT bajo la sombra del árbol, alcanzó una temperatura máxima de 34.8 °C, cuyo índice de carga de calor fue de 82.8 en contraste con el 89.6 mostrado en la exposición directa al sol. Esto permitió concluir que los árboles proporcionan efectos significativos favorables sobre la BGT y el ICC (Foust y Headlee, 2017).

Por otra parte, una de las aplicaciones prácticas para medir el estrés por calor es mediante la tasa de frecuencias respiratorias (rpm), que de acuerdo con la propuesta de Silanikove (2000) se clasificaron en: bajo, 40-60 rpm; medio, 60-80 rpm; alto, 80-120 rpm; severo, por encima de 150 rpm. Rovira y Velazco (2010) evaluaron la tasa de respiración de 30 novillos distribuidos en tres tratamientos: sin sombra, sombra por árboles y sombra natural. Los autores observaron que los novillos sin sombra mostraron la tasa de respiración más alta (74 ± 22 rpm), seguida de la sombra artificial (67 ± 18 rpm) y finalmente la sombra por árbol (61 ± 12 rpm), resultando esta última la más baja de todas, con lo cual se puede concluir que mantiene el confort térmico de los novillos (**Figura 4**).

Asimismo, con la finalidad de identificar la influencia climática y los factores relacionados con la tasa de respiración en las vacas lecheras Holstein Friesian de alto rendimiento ($n=84$), con una producción promedio de 41.08 ± 6.72 kg por vaca/día (y un mínimo de 25kg), Pinto et al. (2019) evaluaron dos condiciones: caliente y frío. Para la ejecución del análisis, los autores determinaron la frecuencia respiratoria por medio de la visualización de los movimientos toracoabdominales, así como las posturas: “de pie” y “postradas/descansando echadas” además de considerar el rendimiento de leche. Se encontró que a medida que aumentaba el THI, los animales mostraban frecuencias respiratorias más altas, además, aquellas vacas que se encontraban postradas/descansando echadas mostraron una frecuencia respiratoria más alta (37 ± 11.1 respiraciones por minuto (rpm) con $\text{THI} < 68$) en comparación a aquellas que se encontraban de pie (30 ± 8.51 rpm) con $\text{THI} < 68$ (Pinto et al., 2019).

La explicación se atribuye a que los animales están más expuestos al mecanismo de convección por el viento o bien, a causa de la compresión del diafragma por el rumen y por tanto provocando la disminución en la capacidad respiratoria y la efectividad de la respiración. Además, se determinó que la frecuencia respiratoria aumentaba conforme a la producción de leche; de esta forma, vacas cuyo rendimiento de leche fue de 60 kg/día obtuvieron 9 respiraciones por minuto más en comparación con las vacas con un rendimiento de 25 kg/día. Esto fue interpretado como un mayor esfuerzo en vacas de alto rendimiento debido a la energía metabolizable para la producción de leche ante aumentos considerables de THI. De esta forma se considera que la medición de la frecuencia respiratoria es una aplicación práctica para evaluar el estrés por calor en granjas lecheras (Pinto et al., 2019).

Otras variables como el jadeo, la temperatura corporal, el cortisol o sus metabolitos en leche y heces han sido determinados para evaluar el estrés por calor en vacas lecheras Holstein ($n=20$), esto, bajo dos condiciones: mediante la presencia de sombra con árboles y sin acceso a la sombra. Los resultados mostraron que los animales sin acceso a la sombra mostraron un aumento en la frecuencia del jadeo, en la temperatura rectales y un incremento en las concentraciones de cortisol fecal hasta en un 400% cuando el índice de carga calórica aumentaba de 50 a 79, pese a que no se encontró diferencia significativa con la presencia de sombra, se evidenció que la sombra atenuó los efectos de la respiración, temperatura rectal y metabolitos de cortisol fecal (Veissier et al., 2018).

Por otro lado, la evaluación de la ganancia de peso en vaquillas lecheras (cruza $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ Holstein $\times$ Cebú) mantenidas en sistema de monocultivo o sistema silvopastoril ha sido investigada por Paciullo et al. (2011). Los resultados mostraron ganancias de 512 g/día en el peso anual de las vaquillas que se encontraban bajo el sistema silvopastoril, en contraste con las vaquillas alojadas en el sistema de monocultivo (452 g/día) (Paciullo et al., 2011). Martínez et al. (2019), monitorearon 246 terneros pertenecientes a 19 tambos (hatos lecheros) en días con THI ≥ 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 THI respecto de TR resultó de 0,25 ($p = 0,0001$), mientras que para FR fue de 0,33 ($p = < 0,0001$). En relación con las prácticas implementadas se registró que el 26 % de los terneros no contaban con sombra ni agua al momento de la visita. Los valores de THI compatibles con estrés moderado y severo afectan tanto a la respiración como a la temperatura rectal en terneros de tambo, lo que trae aparejado que ambos parámetros superen a la constante fisiológica propia de la especie. Dado el valor de correlaciones detectado entre la variable THI y FR, se considera a esta última como un indicador de utilidad para evaluar el impacto del estrés por calor en los terneros a campo.

En lo que respecta a actividad y posición los hallazgos no resultan de claridad para poder concluir respecto de su validez, por lo que se alienta a llevar adelante investigaciones que permitan evaluar dichos parámetros. Dado el bajo porcentaje de terneros que tuvieron acceso a sombra y agua en las horas de máximo THI es posible concluir que la ausencia de estas prácticas, que promueven el bienestar de los terneros, ante condiciones climáticas compatibles con estrés por calor atenta no solo con la productividad sino también con la vida de los animales.

5. 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 ampliamente estudiada a través de los cambios en el comportamiento. Por ejemplo, Nordlund et al. (2019) reportaron diferencias de comportamiento en vacas lecheras Holstein mantenidas en pastoreo abierto y en aquellas criadas en establos cerrados (considerando este como un factor relacionado al estrés calórico). Al evaluar el tiempo que los animales pasaban acostados o parados, en los animales mantenidos en establos se encontró una relación entre el incremento del THI (de 68.5 a 79.0) y una disminución en el tiempo que los animales permanecían acostados (de

9.5 a 6.2 h/día). Además, en conjunto con dicha disminución del comportamiento se encontró un aumento progresivo de la temperatura corporal de 0.50°C/h . De igual manera, Ninomiya et al. (2023) mencionan que no sólo es importante evaluar el tiempo que los animales pasan acostados o de pie como un signo de estrés por calor –debido a que el mantenerse de pie se emplea como un medio para disipar mayor cantidad de calor–, sino que la postura que los animales adoptan es importante. En este sentido, estos autores determinaron que incrementos del THI (hasta 84.1 ± 0.7) estuvieron relacionados con un aumento en el tiempo acostado (57.1%) con la cabeza levantada e inmóvil (37.9%). En contraste, valores THI de 50.9 ± 1.4 se observaron cuando los animales descansaron con la cabeza pegada al cuerpo y hacia atrás. De igual forma, permanecer de pie puede incrementar hasta un 10% cuando los bovinos están bajo estrés calórico (Tucker et al., 2008).

Otros ejemplos son lo observado en 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: $30.58 \pm 3.12^{\circ}\text{C}$; $76.07 \pm 8.44\%$ de humedad relativa; 81.98 ± 3.45 THI) y en sistema de monocultivo (temperatura promedio: $33.24 \pm 4.11^{\circ}\text{C}$; 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 ± 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* (Figura 5) (Améndola et al., 2019).

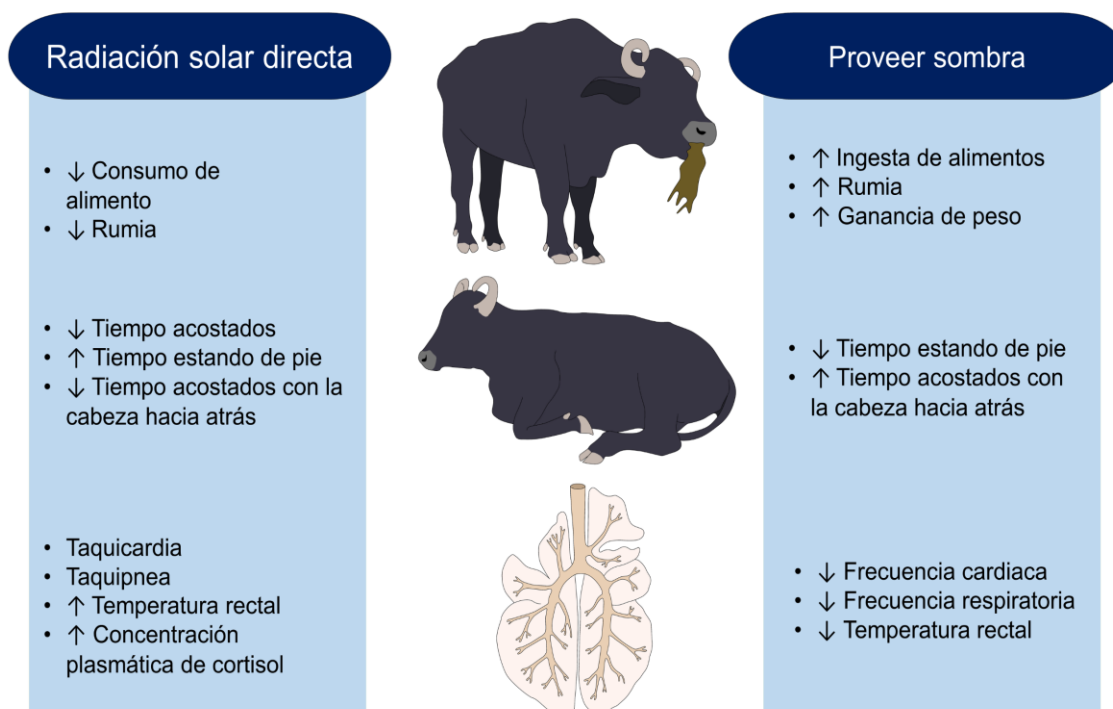


Figura 5. Cambios de conducta ante la exposición directa al sol en contraste con la sombra natural. El efecto del brindar sombra a los *Bovidae* provoca la reducción en las distancias recorridas, produciendo mayor tiempo destinado a la rumia. Esto muestra un efecto positivo, ya que la rumia es uno de los indicadores para evaluar el estado de salud y bienestar del animal.

Los resultados anteriores concuerdan con lo mencionado por Sánchez (2001), quien evaluó el comportamiento de 32 búfalos durante las diferentes horas del día. Dicho autor encontró que el 90% de los animales prefirió forrajear durante la noche o durante las horas más frescas del día, lo cual muestra que los animales disminuyen la ingesta de alimento cuando están expuesto a altas temperaturas. Otra investigación en la que se analizó el comportamiento ante el estrés calórico, contempló 24 vaquillas criollas (raza 3/4 ½ Holstein–Girolando) bajo 3 tratamientos (n=8 por tratamiento): la ausencia total de árboles en pastizales abiertos con *Brachiaria brizantha* cv. pasto Piatã; presencia de árboles en la periferia (*Eucalyptus* spp.) con 49 m de separación entre hileras en un cultivo intercalado con *B. brizantha* cv. Hierba Piatã; y un área boscosa con pastos intercalados con *B. brizantha* cv. Pasto Piatã (ArrC), con árboles 15 m de espacio entre filas (*Eucalyptus* spp.). Se evaluó el porcentaje de tiempo destinado a: permanencia de los animales bajo sombra o expuestos al sol; el desplazamiento de los animales; la actividad: principalmente pastoreo, rumia, e inactividad, así como, ingestión de agua y ensilaje.

Los resultados más relevantes mostraron que el grupo sin presencia de árboles y solo pasto, se vio más afectado al mostrar una disminución en el consumo de ensilaje (26% del tiempo

destinado), en comparación con el grupo mantenido bajo los árboles alineados (29.3%) y el tratamiento con el área boscosa (29%), sin mostrar diferencias significativas entre ambas. En cuanto a la variable desplazamiento, los animales asignados al grupo sin presencia de árboles mostró un aumento de este comportamiento (3.2%) en contraste con el 1.8 % en el grupo con árboles periféricos y 1.3% en el área boscosa. De ese modo se observó que los animales alojados en el área boscosa mostraron mayor tiempo dedicado al reposo (Lopes et al., 2016).

Giro et al. (2019) evaluaron el comportamiento de bovinos Canchim ($\frac{5}{8}$ Charolais $\times$ $\frac{3}{8}$ Cebú) bajo dos tratamientos: cultivo integrado-ganadería-silvicultura y monocultivo. Para la evaluación del comportamiento individual mediante observaciones directas, con registros instantáneos mediante la técnica de escaneo a intervalos de 5 minutos. Se registraron las siguientes conductas: Pastoreo, siendo el tiempo dedicado a las etapas de selección y prehensión de forraje, masticación y deglución; rumia, definido como el tiempo dedicado a la ejecución de movimientos mandibulares, sin pastoreo; “Descanso” descrito como el acto ausente de pastoreo ni rumia. “Postura”: de pie o acostado, siendo este último presente cuando su abdomen estaba haciendo contacto contra el suelo. Los resultados mostraron que los animales mantenidos bajo el sistema silvopastoril mostraron efectos benéficos sobre la rumia al mostrar mayor tiempo destinado a este comportamiento (42.9 ± 2.2) en comparación con los animales mantenidos en el monocultivo (36.6 ± 2.2 min).

Otro comportamiento relevante fue el tiempo de descanso, al ser más corto durante las mañanas en el sistema silvopastoril (57.6 ± 2.7 minutos), a diferencia de lo mostrado en condiciones de monocultivo (65.9 ± 2.8 minutos). Esto se puede explicar como un signo de incomodidad térmica y es similar a lo encontrado por Vizzotto et al. (2015), quienes mencionan que el ganado descansa más tiempo con el fin de disminuir la generación de calor endógeno, sumado a la permanencia de pie del animal, para permitir la disipación de energía térmica por convección, facilitando la termorregulación. Cabe mencionar que el tiempo de pastoreo y otras actividades no difirieron entre tratamientos durante la tarde (Giro et al., 2019).

La frecuencia del comportamiento 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).

Otros comportamientos que se asocian al estrés calórico cuando los animales no son provistos por sombra es la protrusión de lengua, salivación excesiva, jadeo e

hiperventilación como medios compensatorios para reducir la temperatura corporal (Das et al., 1999; Khongdee et al., 2011; Mora-Medina et al., 2018). Debido a ello, una evaluación integral que considere comportamiento, cambios en la postura y otros parámetros puede ayudar a identificar el grado de estrés calórico que se presenta en los animales.

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. De igual manera, al comparar el efecto de la adición de sombra artificial con otros elementos como ventiladores de techo y regaderas, Younas et al. (2020) determinó en Nili-Ravi búfalos que, de acuerdo a la temperatura rectal (disminuciones del 2.2%), frecuencia respiratoria (disminución del 17%) y pulso (disminución del 13.77%), el uso de regaderas ofrece mayores beneficios que únicamente brindar sombra a los animales.

Las diferencias encontradas en los estudios que evalúan la adición de sombra artificial pueden estar relacionado a la diversidad de materiales para la construcción de techos. Estos ejercen distintos efectos sobre las variables microclimáticas, el THI, los parámetros fisiológicos, de comportamiento, la alimentación, eficiencia productiva, valores bioquímicos y hormonales del animal (Narwaria et al., 2017).

6. INFLUENCIA DEL MATERIAL DEL TECHO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS BOVINOS

El rendimiento productivo en ganado de carne bajo la exposición directa al sol y la provisión de sombra con láminas de acero galvanizado ha sido evaluado a través de las características de la canal, en Angus mestizos y vaquillas criollas Charolais. Los hallazgos indican que las vaquillas bajo la sombra mostraron un incremento de 11.3 kg/animal en el peso final (565kg vs. 554.2), asimismo, se observó mayor peso en la canal caliente (352.3 vs. 345), mayor grado de rendimiento según la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (2.40 vs. 2.22), así como, una diferencia en el porcentaje de corte oscuro en canal o también denominado miopatía DFD (Dark, Firm and Dry), 8.3% en vaquillas bajo la sombra en comparación con lo encontrado para las vaquillas sin sombra (19.1%); (Mitlohner et al., 2002). El Cuadro 1 resume algunos estudios donde se compara el efecto de diversos materiales en la capacidad termorreguladora de bovinos.

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.

Sujetos de estudio	Material	THI	Referencias
Bovino cruza de Indobrasil x Brahman Vaquilla	Lámina acanalada de acero	82.00 ± 3.09	(Khongdee, 2016)
	Lámina acanalada de acero con malla sombra (WPSC)	80.26 ± 3.02	
Becerras cruza con Vrindavani	Paja	80.72 ± 0.29	(Kamal et al., 2016)
	Agro-net (malla verde)	79.68 ± 0.35	
	Asbesto lienzo de algodón como sombra	82.86 ± 0.33	
	Árboles	82.68 ± 0.44	
Vacas lecheras (India)	Paja	74.54 ± 1.72	(Sivakumar et al., 2017)
	Teja	76.30±1.72	
	Metal	75.67±1.72	
	Cemento/ concreto	77.23 ± 1.76	
	Método abierto de crianza	74.73±1.81	
Vaquillas cebú (3/4-cebú, cruza con alguna raza europea (<i>Bos taurus</i>), específicamente Pardo Suizo, Holstein y Simmental)	Techos térmicos (invernaderos de plástico)	60.7 ± 8.7	(Valadez-Noriega et al., 2020)
	Sin techo	59.4 ± 9.7	

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). De manera similar, Ahmad et al. (2019) observaron un incremento en la ingesta de materia seca y de la producción láctea de 0.7 a 3.34 kg/día, así como incrementos en los porcentajes de grasa, proteínas y lactosa en leche de búfalas alojadas en instalaciones con sombra+ventilador+aspersor (Ahmad et al., 2019).

Con el fin de estudiar el rendimiento en el crecimiento y los cambios fisiológicos en el ganado de carne, Khongdee (2016), estudiaron a 10 vaquillas Indobrasil x Brahman bajo dos tratamientos: vaquillas bajo un techo de hierro galvanizado corrugado (altura máxima 4m) y el grupo restante fue alojado en una instalación cuyo techo contemplaba una variante adicional con respecto al primer techo, la adición de malla sombra (WPSC) con factor sombra del 80% (Polysac, Bangkok, Tailandia) sobre el techo de lámina galvanizada. Los resultados mostraron que el grupo alojado con la variación de WPSC obtuvo una temperatura rectal más baja ($39.02 \pm 0.41^{\circ}\text{C}$ Vs. $40.05 \pm 0.67^{\circ}\text{C}$), así como niveles más altos en triyodotironina (4.08 ± 0.69 pg/mL Vs. 3.75 ± 0.92 pg/mL), en comparación los animales bajo el techo de lámina galvanizada. Además, se pudo determinar que la ingesta de materia seca fue ligeramente mayor en el grupo WPSC (7.61 kg/día Vs. 7.39 kg/día). Con ello, se concluye que la adecuación que se realizó en el techo de hierro galvanizado resultó en un mejor desempeño en el crecimiento de vaquillas de carne (Khongdee, 2016).

Valadez-Noriega et al. (2020) encontraron diferencias en el peso vivo final en novillos Cebu (Cruza $\frac{3}{4}$ de Cebú con alguna raza europea de *Bos taurus* (Pardo suizo, Holstein y Simmental), siendo mayor en aquellos novillos alojados en sombra (599.7 ± 46.4 kg Vs. 599.7 ± 46.4 kg) en comparación con los animales que no tenían sombra. La expresión del comportamiento difirió entre ambos grupos, la postura de reposo fue mayor en aquellos animales sin sombra; mientras que aquellos animales que se encontraban de pie mostraban una menor tendencia al consumo de alimento, mientras que aquellos animales bajo sombra dedicaban más tiempo a permanecer echados descansando y rumiando.

Por otro lado, el rendimiento bioquímico, hormonal y de comportamiento han sido evaluados en terneros cruza de Vrindavani con tres días de edad mantenidos bajo sombra construidas con distintos materiales: paja Agro-net (tela malla sombra verde a base de polietileno de alta densidad al 100%, con estabilidad a la luz UV y 60% de difusión de luz), lámina de asbesto sobre la cual se colocó una tela de algodón sobre la superficie externa y el uso de un árbol (Kamal et al., 2016). Los resultados de química sanguínea mostraron en general una concentración de hemoglobina más alta (10.61 ± 0.46 g/dL) en el material de Agro-net en comparación con el techo de asbesto (9.47 ± 0.25), lo cual podría ser debido a una mayor adaptabilidad de los animales a las condiciones extremas. Los niveles más altos de glucosa correspondieron a los animales bajo techo Agro-net (46.44 ± 1.21 mg/dL) en comparación con los animales en sombras con los otros materiales (paja 10.51 ± 0.43 ; asbesto 9.47 ± 0.25 ; árbol 10.58 ± 0.36). En el caso de búfalos Murrah, Kumar et al. (2017) comparó el efecto de dos tipos de alojamiento: un sistema sin techo y otro con un techo de asbesto de 10–12 pies de alto con ventiladores de techo. Los autores encontraron que los animales asignados al grupo con techo de asbesto tuvieron una temperatura corporal menor que aquellos en sistemas abiertos (38.26 vs. 38.64°C). De igual manera, la temperatura superficial (33.89°C), frecuencia respiratoria (30.99 conteos/min), pulso

(52.52 conteos/min) y concentraciones de cortisol (3.31 ng/ml) fueron menores en los búfalos provistos de techo, lo cual se asocia a un beneficio termorregulador para los búfalos.

Estas diferencias en los niveles fisiológicos pueden ser el resultado de una mayor disposición a alimentarse por parte del ternero. Asimismo, los niveles de fosfatasa alcalina fueron significativamente mayores en el grupo mantenido bajo sombra del árbol, seguido del techo de asbesto, lo cual podría explicarse por un aumento de la ventilación alveolar y alcalosis. De igual modo, animales mantenidos en potreros con sombras hechas con techos de paja y con malla sombra Agronet, mostraron los valores significativamente más bajos de las enzimas transaminasa glutámico oxalacética sérica y transaminasa piruvicoglutámica sérica, mientras que los animales tanto para sombra por árbol y la sombra de asbesto mostraron mayores valores de estas enzimas probablemente para compensar otros efectos negativos del estrés térmico sobre los mecanismos homeostáticos fisiológicos y bioquímicos de los animales.

Cabe mencionar que los niveles de cortisol fueron más bajos en el grupo alojado con Agro-net en comparación con las sombras de los otros materiales [7.39 ± 0.75 Vs. paja 9.82 ± 1.55 ; Asbesto 10.40 ± 1.04 , árbol 9.70 ± 1.11 (nM/L)], lo cual podría indicar un ambiente cómodo y libre de estrés. Por otro lado, también se encontró una tendencia decreciente con respecto a los niveles de triyodotironina sérica (T3) y tiroxina sérica (T4) como respuesta al incremento de la temperatura ambiental. Lo anterior debido a que las hormonas tardan en alcanzar un nuevo equilibrio como respuesta al estrés calórico (Kamal et al., 2016).

Aunado con lo anterior, la expresión de los comportamientos en los animales del grupo con Agro-net destinaron la mayor parte del tiempo alimentándose, rumiando, descansando, durmiendo o jugando, en contraste con los animales alojados bajo las sombras construidas con los otros materiales (paja, asbesto y árbol) donde la rumia y el descanso se vieron negativamente influenciados por la falta de comodidad, lo cual podría deberse a que al permanecer de pie, las vacas maximizan la evaporación del cuerpo, mientras al mismo tiempo pueden escapar la energía por la conducción y radiación de la superficie de la tierra. Debido a la respuesta fisiológica, bioquímica y conductual antes mencionada, el techo a base de Agro-net podría ser una buena opción para promover un microclima adecuado para los animales (Kamal et al., 2016).

7. 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*.

Adicionalmente, debido a que la cámara termográfica infrarroja es una herramienta que permite evaluar la temperatura superficial de los animales (José-Pérez et al., 2022; Mota-Rojas et al., 2021a,b,c,d; Reyes-Sotelo et al., 2021; Mota-Rojas et al., 2022a,b; Domínguez-Oliva et al., 2023; Napolitano et al., 2023a; Rodríguez-González et al., 2023; Silva et al., 2023), y que evalúa indirectamente los cambios vasomotores en respuesta al estrés frente a diversos procesos inflamatorios, patológicos, dolorosos y térmicos (Casas-Alvarado et al., 2020, 2022, 2023; Mota-Rojas et al., 2021a,b,c,d; Mota-Rojas et al., 2022a,b; Whittaker et al., 2023). Actualmente, estudios como el de Barros et al. (2016) ha empleado la termografía para evaluar la temperatura superficial orbital, de los flancos y el escroto, y su asociación con el THI. Los resultados mostraron que el THI tuvo una correlación positiva con el aumento de la temperatura superficial en dichas regiones ($r=0.72$, $r=0.77$, $r=0.75$ and $r=0.41$, respectivamente). De igual manera, Brcko et al. (2020) encontraron correlaciones entre la temperatura rectal y la ocular, mostrando que la termografía infrarroja podría servir para evaluar el efecto que la sombra y los diferentes tipos de materiales tienen en la termorregulación de los bovinos.

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 de los búfalos de agua.

REFERENCIAS

Adamczyk, K., Górecka-Bruzda, A., Nowicki, J., Gumułka, M., Molik, E., Schwarz, T., Earley, B., Kłoczek, 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>
- Ahmad, M., Bhatti, J.A., Abdullah, M., Ullah, R., ul Ain, Q., Hasni, M.S., Mahboob Ali, Rashid, A., Qaisar, I., Rashid, G., Uddin, R., 2019. Different ambient management intervention techniques and their effect on milk production and physiological parameters of lactating NiliRavi buffaloes during hot dry summer of subtropical region. *Trop. Anim. Health Prod.* 51, 911–918. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1774-5>
- 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>
- Amit, M. Das, Dash, S.S., Sahu, S., Sarangi, A., Singh, M., 2021. Effect of microclimate on feeding, drinking and physiological parameters of buffalo: A review. *Pharma Innov. J.* 10, 2416–2419.
- 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
- 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. e Zootec.* 68, 422–430. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8327>
- Bellagi, R., Martin, B., Chassaing, C., Najar, T., Pomiès, D., 2017. Evaluation of heat stress on Tarentaise and Holstein cow performance in the Mediterranean climate. *Int. J. Biometeorol.* 61, 1371–1379. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1314-4>
- Berdugo-Gutiérrez J, Mota-Rojas D, Napolitano F, Nava J, Ruíz.Buitrago JD, González-López C, Guerrero-Legarreta I., 2019. Heat stress in river buffalo. *Revista Entorno Ganadero, México* 15,26-36.
- Bertoni, A., Mota-Rojas, D., Alvarez-Macías, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta I., Morales-Canela, A., Gómez-Prado, J., Jose-Pérez N., Martínez-Burnes, J. 2019. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 8, 288-297
- Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Mota-Rojas, D., Dávalos, J.L., Minervino, A.H.H., 2021. Dual-Purpose Water Buffalo Production Systems in Tropical Latin America: Bases for a Sustainable Model. *Animals* 11, 2910. <https://doi.org/10.3390/ani11102910>
- 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>
- 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>
- Casas-Alvarado, A., Martínez-Burnes, J., Mora-Medina, P., Hernández-Avalos, I., Domínguez-Oliva, A., Lezama-García, K., Gómez-Prado, J., Mota-Rojas, D., 2022. Thermal and Circulatory

- Changes in Diverse Body Regions in Dogs and Cats Evaluated by Infrared Thermography. *Animals* 12, 789. <https://doi.org/10.3390/ani12060789>
- Casas-Alvarado, A., Mota-Rojas, D., Hernández-Ávalos, I., Martínez-Burnes, J., Rosas, M.E., Miranda-Cortés, A., Domínguez-Oliva, A., Mora-Medina, P., 2023. Assessment of thermal response, cardiorespiratory parameters and post-operative analgesia in dogs undergoing ovariohysterectomy with different combinations of epidural analgesia and isoflurane. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 11, e2023009. <https://doi.org/10.31893/jabb.23009>
- Casas-Alvarado, A., Mota-Rojas, D., Hernández-Ávalos, I., Mora-Medina, P., Olmos-Hernández, A., Verduzco-Mendoza, A., Reyes-Sotelo, B., Martínez-Burnes, J., 2020. 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>
- 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.
- Das, S.K., Upadhyay, R.C., Madan, M.L., 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)
- 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.
- Domínguez-Oliva, A., Hernández-Ávalos, I., Olmos-Hernández, A., Villegas-Juache, J., Verduzco-Mendoza, A., Mota-Rojas, D., 2023. Thermal response of laboratory rats (*Rattus norvegicus*) during the application of six methods of euthanasia assessed by infrared thermography. *Animals* 13, 2820. <https://doi.org/10.3390/ani13182820>
- 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>
- Fundora, O., Sánchez, R.R.R., 2001. Datos preliminares de la conducta alimentaria de búfalos de río en pastoreo. *Rev. Cuba. Cienc. Agríc.* 35, 15–17.
- Galloso-Hernández, M.A., Rodríguez-Estévez, V., Álvarez-Díaz, C.A., Soca-Pérez, M., Dublin, D., Iglesias-Gómez, J., Simon Guelmes, L., 2020. Effect of Silvopastoral Systems in the Thermoregulatory and Feeding Behaviors of Water Buffaloes Under Different Conditions of Heat Stress. *Front. Vet. Sci.* 7, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00393>
- Galloso-Hernández, M.A., Soca-Pérez, M., Dublin, D., Álvarez-Díaz, C.A., Iglesias-Gómez, J., Díaz-Gaona, C., Rodríguez-Estévez, V., 2021. Thermoregulatory and feeding behavior under different management and heat stress conditions in heifer water buffalo (*Bubalus bubalis*) in the tropics. *Animals* 11, 1162. <https://doi.org/10.3390/ani11041162>
- Galloso, H., M.A., 2021. Potencial de los sistemas silvopastoriles para la producción bufalina en ambientes tropicales.
- Glauber C.E.; Ghezzi M.D.; 2015. Bienestar animal en rodeos bovinos lecheros: Reflexiones y producción lechera. *Vet. Arg.* – 32, 329.
- Giro, A., Pezzopane, J.R.M., Barioni Junior, W., Pedroso, A. de F., Lemes, A.P., Botta, D., Romanello, N., Barreto, A. do N., Garcia, A.R., 2019. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. *Sci. Total Environ.* 684, 587–596. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.377>
- Gu, Z., Yang, S., Leng, J., Xu, S., Tang, S., Liu, C., Gao, Y., Mao, H., 2016. Impacts of shade on physiological and behavioural pattern of Dehong buffalo calves under high temperature. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 177, 1–5.

- Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Orihuela, A. 2019. El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales. Segunda edición. México, Editorial BM Editores. Ciudad de México. p.p. 1-881. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>
- Huber, E., Notaro, U.S., Recce, S., Rodríguez, F.M., Ortega, H.H., Salvetti, N.R., Rey, F., 2020. Fetal programming in dairy cows: Effect of heat stress on progeny fertility and associations with the hypothalamic-pituitary-adrenal axis functions. *Anim. Reprod. Sci.* 216, 106348. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106348>
- Johnson HD. 1980. Manejo ambiental del ganado para minimizar el estrés de los cambios climáticos. *Ent. J. Biometeor.* 24 (7): 65–78.
- José-Pérez, N., Mota-Rojas, D., Ghezzi, M.D., Rosmini, M.R., Mora-Medina, P., Bertoni, A., Rodríguez-González, D., Domínguez-Oliva, A., Guerrero-Legarreta, I., 2022. Effects of transport on water buffaloes (*Bubalus bubalis*): factors associated with the frequency of skin injuries and meat quality. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 10. <https://doi.org/https://doi.org/10.31893/jabb.22016>
- 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., 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>
- 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>
- Koga, A., Chanpongsang, S., Chaiyabutr, N., 2007. Importance of body-water circulation for body-heat dissipation in hot-humid climates: A distinctive body-water circulation in swamp buffaloes. *Ital. J. Anim. Sci.* 6, 1219–1222. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.1219>
- Kumar, A., Kamboj, M.L., Chandra, S., Bharti, P., 2017. Effect of modified housing system on physiological parameters of Murrah buffaloes during autumn and winter season. *Indian J. Anim. Res.* 52, 829–833. <https://doi.org/10.18805/ijar.B-3305>
- Kovács, L., Kézér, F.L., Bakony, M., Jurkovich, V., Szenci, O., 2018. Lying down frequency as a discomfort index in heat stressed Holstein bull calves. *Sci. Rep.* 8, 1–5. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33451-6>
- Le Fevre, M., Matheny, J., Kolt, G.S., 2003. Eustress, distress, and interpretation in occupational stress. *J. Manag. Psychol.* 18, 726–744. <https://doi.org/10.1108/02683940310502412>
- Lendez, P. A., Nieto Farias, M. V., Martínez Cuesta, L., Vater, A. A., Ghezzi, M. D., Mota-Rojas, D., Dolcini, G.L. & Ceriani, M.C., 2020. Heat stress: its effect on the immune status of dairy cows. *Rev. Med. Vet. (En línea)* 101 (3), 7-13. Disponible en: [http://www.someve.com.ar/images/revista/2020/Vol101\(3\)/Pag-7-13-Lendez.pdf](http://www.someve.com.ar/images/revista/2020/Vol101(3)/Pag-7-13-Lendez.pdf)
- Lendez, P. A., Martínez Cuesta L., Nieto Farias M.V., Vater A.A., Ghezzi M.D., Mota-Rojas D., Dolcini G. L., Ceriani M.C., 2021. Alterations in TNF- α and its receptors expressions in the cows undergoing heat stress. *Vet. Immunol. Immunopathol.* <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2021.110232>
- Llamas Luceño, N., de Souza Ramos Angrimani, D., de Cássia Bicudo, L., Szymańska, K.J., Van Poucke, M., Demeyere, K., Meyer, E., Peelman, L., Mullaart, E., Broekhuijse, M.L.W.J., Van Soom, A., 2020. Exposing dairy bulls to high temperature-humidity index during spermatogenesis

- compromises subsequent embryo development in vitro. *Theriogenology* 141, 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.08.034>
- Lopes, L.B., Eckstein, C., Santos Pina, D., Carnevali, R.A., 2016. The influence of trees on the thermal environment and behaviour of grazing heifers in Brazilian Midwest. *Trop Anim Heal. Prod* 48, 755–761. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1021-x>
- Manteca, X., Mainau, E., Temple, D., 2013. 'Stress in farm animals and effect on performance.' *Farm Anim. Fact Welf. Sheet* 6, 1–2.
- Marai, I.F.M., Habeeb, Alsaied A.M., 2010a. Buffalo's biological functions as affected by heat stress — A review. *Livest. Sci.* 127, 89–94.
- Marai, I.F., Habeeb, A.A.M., 2010b. Buffaloes' reproductive and productive traits as affected by heat stress. *Trop. Subtrop. Agroecosystems*. 12, 193–217.
- Martínez G, Suárez VH, Ghezzi MD. 2016. Impacto de la relación humano-animal en la productividad y el bienestar animal de los rodeos lecheros. *Rev. Argentina de Prod. Anim.* 36 (2): 75–82.
- Martínez G.M., Demateis Lera F., Otero A., López Seco E., 2019. Impacto del estrés por calor en terneros de tambo sobre parámetros fisiológicos y conductuales. *Revista FAVE Sección Veterinaria* - En prensa.
- Mitlohner, F.M., Galyean, M.L., Mcglone, J.J. 2002. Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers, *Anim. Sci. J.* 80, 2043–2050
- Mohankumar, S.M.J., Balasubramanian, P., Dharmaraj, M., Mohankumar, P.S., 2012. Neuroendocrine regulation of adaptive mechanisms in livestock, in: *Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 263–298. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29205-7_11
- Mora-Medina, P., Berdugo-Gutiérrez, J. A., Mota-Rojas, D., Ruiz-Buitrago, J. D., Nava-Adame, J., & Guerrero-Legarreta, I., 2018. Behaviour and welfare of dairy buffaloes: Pasture or confinement?. *J. Buffalo Sci.* 7, 43–48.
- Morrison, S.F., 2011. 2010 Carl Ludwig Distinguished Lectureship of the APS Neural Control and Autonomic Regulation Section: Central neural pathways for thermoregulatory cold defense. *J. Appl. Physiol.* 110, 1137–1149. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01227.2010>
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., 2019a. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. (UK). <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>
- Mota-Rojas, D. Napolitano, F., Sarubbi, J., Braghieri, A., Martínez-Burnes, J., Bertoni, A., Ghezzi, D. et al. 2019b. Capítulo 16. Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja” en Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). *El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales* (p. 512–538), Segunda edición. México, BM Editores. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>
- Mota-Rojas, D., Ghezzi, M.D.; Sarubbi, J., Napolitano, F., José-Pérez, N., Braghieri, A., Martínez, G.M.; Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I., Barrios, H., Martínez-Burnes, J. 2019c. Capítulo 17. Importancia de la sombra natural o artificial y su efecto en los indicadores fisiológicos y de comportamiento en el búfalo de agua, bovino europeo y bovino índico. En Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). *El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales* (p. 539–581), Segunda edición. México, BM Editores. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/descargas/el-bufalo-de-agua-en-las-americas-2a-edicion/>
- Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A., Martínez-Burnes, J., Álvarez-Macías, A., Orihuela, A., 2020a. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 9,2103. <https://doi.org/10.31893/jabb.21003>
- Mota-Rojas, D., Olmos-Hernández, A., Verduzco-Mendoza, A., Lecona-Butrón, H., Martínez-Burnes, J., Mora-Medina, P., Gómez-Prado, P.J., Orihuela, A., 2020b. Infrared thermal imaging associated with pain in laboratory animals. *Experimental Animals* 70, 1–12. doi:

- 10.1538/expanim.20-0052
- Mota-Rojas, D., Olmos-Hernández, A., Verduzco-Mendoza, A., Lecona-Butrón, H., Martínez-Burnes, J., Mora-Medina, P., Gómez-Prado, J., Orihuela, A., 2021a. Infrared thermal imaging associated with pain in laboratory animals. *Exp. Anim.* 70, 1–12. <https://doi.org/10.1538/expanim.20-0052>
- Mota-Rojas, D., Pereira, A.M.F., Wang, D., Martínez-Burnes, J., Ghezzi, M., Hernández-Avalos, I., Lende, P., Mora-Medina, P., Casas, A., Olmos-Hernández, A., Domínguez, A., Bertoni, A., Geraldo, A. de M., 2021b. Clinical Applications and Factors Involved in Validating Thermal Windows Used in Infrared Thermography in Cattle and River Buffalo to Assess Health and Productivity. *Animals* 11, 2247. <https://doi.org/10.3390/ani11082247>
- Mota-Rojas, D., Titto, C.G., Orihuela, A., Martínez-Burnes, J., Gómez-Prado, J., Torres-Bernal, F., Flores-Padilla, K., Carvajal-de la Fuente, V., Wang, D., 2021c. Physiological and behavioral mechanisms of thermoregulation in mammals. *Animals* 11, 1733. <https://doi.org/10.3390/ani11061733>
- Mota-Rojas, Daniel, Titto, C.G., de Mira Geraldo, A., Martínez-Burnes, J., Gómez, J., Hernández-Ávalos, I., Casas, A., Domínguez, A., José, N., Bertoni, A., Reyes, B., Pereira, A.M.F., 2021d. Efficacy and function of feathers, hair, and glabrous skin in the thermoregulation strategies of domestic animals. *Animals* 11, 3472. <https://doi.org/10.3390/ani11123472>
- Mota-Rojas, D., Bragaglio, A., Braghieri, A., Napolitano, F., Domínguez-Oliva, A., Mora-Medina, P., Álvarez-Macías, A., De Rosa, G., Pacelli, C., José, N., Barile, V.L., 2022a. Dairy buffalo behavior: Calving, imprinting and allosuckling. *Animals* 12, 2899. <https://doi.org/10.3390/ani12212899>
- Mota-Rojas, D., Martínez-Burnes, J., Casas-Alvarado, A., Gómez-Prado, J., Hernández-Ávalos, I., Domínguez-Oliva, A., Lezama-García, K., Jacome-Romero, J., Rodríguez-González, D., Pereira, A.M.F., 2022b. Clinical usefulness of infrared thermography to detect sick animals: frequent and current cases. *CABI Rev.* 2022. <https://doi.org/10.1079/cabireviews202217040>
- Morrell, J.M., 2020. Heat stress and bull fertility. *Theriogenology* 153, 62–67. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.014>
- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Guerrero- Legarreta I., Orihuela, O. 2020. En: *El búfalo de Agua en Latinoamérica. Hallazgos recientes*. Ciudad de México, México: Tercera edición. BM Editores (2020). p. 923–958. Available online at: <https://www.lifescienceglobal.com/journals/journal-of-buffalo-science/97-abstract/jbs/4550-el-bufalo-de-agua-enlatinoamerica-hallazgos-recientes> (accessed June 5, 2020).
- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Cruz-Monterrosa, R.G., José-Pérez, N., Álvarez-Macías, A., Domínguez-Oliva, A., Rodríguez-González, D., Lezama-García, K., y de Rosa, G., 2022. Colostrum in the water buffalo: immunological, nutritional and physicochemical aspects. *Soc. Rural. Prod. y Medio Ambient.* 42, 125–142.
- Napolitano, F., Bragaglio, A., Braghieri, A., El-Aziz, A.H.A., Titto, C.G., Villanueva-García, D., Mora-Medina, P., Pereira, A.M.F., Hernández-Avalos, I., José-Pérez, N., Casas-Alvarado, A., Lezama-García, K., Domínguez-Oliva, A., Rodríguez-González, D., Bertoni, A., Mota-Rojas, D., 2023a. The effect of birth weight and time of day on the thermal response of newborn water buffalo calves. *Front. Vet. Sci.* 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1084092>
- Napolitano, F., De Rosa, G., Chay-Canul, A., Álvarez-Macías, A., Pereira, A.M.F., Bragaglio, A., Mora-Medina, P., Rodríguez-González, D., García-Herrera, R., Hernández-Ávalos, I., Domínguez-Oliva, A., Pacelli, C., Sabia, E., Casas-Alvarado, A., Reyes-Sotelo, B., Braghieri, A., 2023b. The Challenge of Global Warming in Water Buffalo Farming: Physiological and Behavioral Aspects and Strategies to Face Heat Stress. *Animals* 13, 3103. <https://doi.org/10.3390/ani13193103>
- 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.
- Ninomiya, S., Goto, Y., Huricha, Onishi, H., Kurachi, M., Ito, A., 2023. Lying posture as a behavioural indicator of heat stress in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 265, 105981. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.105981>
- Nordlund, K.V., Strassburg, P., Bennett, T.B., Oetzel, G.R., Cook, N.B., 2019. Thermodynamics of standing and lying behavior in lactating dairy cows in freestall and parlor holding pens during conditions of heat stress. *J. Dairy Sci.* 102, 6495–6507. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15891>
- 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>
- Reyes-Sotelo, B., Mota-Rojas, D., Martínez-Burnes, J., Olmos-Hernández, A., Hernández-Ávalos, I., José, N., Casas-Alvarado, A., Gómez, J., Mora-Medina, P., 2021. Thermal homeostasis in the newborn puppy: behavioral and physiological responses. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 9, 1–25. <https://doi.org/10.31893/jabb.21012>
- Rodríguez-González, D., Guerrero-Legarreta, I., Cruz Monterrosa, R.G., Napolitano, F., Gonçalves-Titto, C., El-Aziz, A.H.A., Hernández- Ávalos, I., Casas-Alvarado, A., Oliva- Domínguez, A., Mota-Rojas, D., 2023. Assessment of thermal changes in water buffalo mobilized from the paddock and transported by short journeys. *Front. Vet. Sci.* 12, 1184577. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1184577>
- 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)
- Silva, J.A.R. da, Pantoja, M.H. de A., Silva, W.C. da, Almeida, J.C.F. de, Noronha, R. de P.P., Barbosa, A.V.C., Lourenço Júnior, J. de B., 2022. Thermoregulatory reactions of female buffaloes raised in the sun and in the shade, in the climatic conditions of the rainy season of the Island of Marajó, Pará, Brazil. *Front. Vet. Sci.* 9, 998544. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.998544>
- Silva, W.C. da, Silva, J.A.R. da, Silva, É.B.R. da, Barbosa, A.V.C., Sousa, C.E.L., Carvalho, K.C. de, Santos, M.R.P. dos, Neves, K.A.L., Martorano, L.G., Camargo Júnior, R.N.C., Lourenço-Júnior, J. de B., 2023. Characterization of Thermal Patterns Using Infrared Thermography and Thermolytic Responses of Cattle Reared in Three Different Systems during the Transition Period in the Eastern Amazon, Brazil. *Animals* 13, 2735.

- <https://doi.org/10.3390/ani13172735>
- Sivakumar, T., Suraj, P.T., Yasotha, A., Phukon, J., 2017. Identification of suitable housing system for dairy cattle in North East Zone of Tamil Nadu, India, with respect to microclimate. *Vet. World* 10, 1–5. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1-5>
- St-Pierre, N.R., Cobanov, B., Schnitkey, G., 2003. Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries. *J. Dairy Sci.* 86, E52–E77. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5)
- Sugenoya, J., Iwase, S., Mano, T., Sugiyama, Y., Ogawa, T., Nishiyama, T., Nishimura, N., Kimura, T., 1998. Vasodilator component in sympathetic nerve activity destined for the skin of the dorsal foot of mildly heated humans. *J. Physiol.* 507, 603–610. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1998.603bt.x>
- Tao, S., Dahl, G.E., Laporta, J., Bernard, J.K., Orellana Rivas, R.M., Marins, T.N., 2019. PHYSIOLOGY SYMPOSIUM: Effects of heat stress during late gestation on the dam and its calf¹². *J. Anim. Sci.* 97, 2245–2257. <https://doi.org/10.1093/jas/skz061>
- Theurer, M.E., Anderson, D.E., White, B.J., Miesner, M.D., Larson, R.L., 2014. Efectos de las variables climáticas sobre la termorregulación de los terneros durante períodos de calor extremo. *A.m. J. Vet. Res.* 75, 296–300.
- Tikul, N., Prachum, S., 2022. Passive cooling strategies for cattle housing on small farms: A case study. *Maejo Int. J. Sci. Technol.* 16, 25–39.
- Tortora, D., Derrickson, B., 2010. Principios de anatomía y fisiología, in: *Principios de Anatomía y Fisiología*. Editorial panamericana, España, pp. 704–706.
- Tucker, C.B., Rogers, A.R., Schütz, K.E., 2008. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 109, 141–154. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.03.015>
- Valadez-Noriega, M., Méndez-Gómez-Humarán, M.C., Rayas-Amor, A.A., Sosa-Ferreira, 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>
- Whittaker, A.L., Muns, R., Wang, D., Martínez-Burnes, J., Hernández-Ávalos, I., Casas-Alvarado, A., Domínguez-Oliva, A., Mota-Rojas, D., 2023. Assessment of Pain and Inflammation in Domestic Animals Using Infrared Thermography: A Narrative Review. *Animals* 13, 2065. <https://doi.org/10.3390/ani13132065>
- Wolfenson, D., Thatcher, W.W., Badinga, L., Savió, 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>
- Younas, U., Abdullah, M., Bhatti, J.A., Ahmed, N., Shahzad, F., Idris, M., Tehseen, Sana, Junaid, M., Tehseen, Saima, Ahmed, S., 2020. Biochemical and physiological responses of Nili-Ravi Buffalo (*Bubalus bubalis*) to heat stress. *Turkish J. Vet. Anim. Sci.* 44, 1196–1202. <https://doi.org/10.3906/vet-2005-145>
- 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.