

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/371276905>

Chapter 26. Thermal windows in water buffalo: practical aspects for reproductive assessment/Ventanas térmicas en el búfalo de agua: aspectos prácticos para la valoración reproducti...

Chapter · March 2023

CITATIONS

0

READS

108

12 authors, including:



Fabio Napolitano

Università degli Studi della Basilicata

346 PUBLICATIONS 6,068 CITATIONS

SEE PROFILE



Aldo Bertoni Mendoza

Metropolitan Autonomous University

89 PUBLICATIONS 680 CITATIONS

SEE PROFILE



Agustín Orihuela

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

267 PUBLICATIONS 3,221 CITATIONS

SEE PROFILE



Gustavo Crudeli

62 PUBLICATIONS 295 CITATIONS

SEE PROFILE

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.

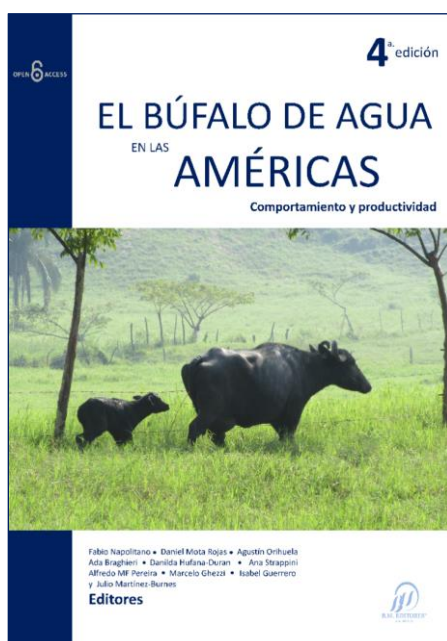
He was member of the editorial board of the journals “Animals” (MDPI), “Journal of Food Quality” (Hindawi), and “International Journal of Food Studies” (ISEKI_Food Association), Editor in chief of the third Edition of the book “[Water buffalo in the Americas](#)” and Editor in chief of the “[Journal 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 26

VENTANAS TÉRMICAS EN EL BÚFALO DE AGUA: ASPECTOS PRÁCTICOS PARA LA VALORACIÓN
REPRODUCTIVA



EL BÚFALO DE AGUA EN LAS AMÉRICAS

4^a. Edición





CAPÍTULO 26

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

Fabio Napolitano¹, Aldo Bertoni², Agustín Orihuela³, Gustavo Crudeli⁴, Andrea Bragaglio⁵, Francesco Serrapica⁶, Jesús Berdúgo⁷, Corrado Pacelli¹, Adolfo Álvarez-Macías², Armando Morales-Canela⁸, Jocelyn Gómez² y Daniel Mota-Rojas²

¹*Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.*

²*Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México.*

³*Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.*

⁴*Facultad de Ciencias Veterinarias (FCV) de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Argentina.*

⁵*Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi Dell'Economia Agraria (CREA), Research Centre for Engineering and Food Processing, Treviglio, Italy.*

⁶*Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici, Naples, Italia.*

⁷*Centro Latinoamericano para el Estudio del Búfalo de Agua (CLABU). Colombia.*

⁸*Ciencias Agrícolas de la Universidad EARTH. Costa Rica.*

INTRODUCCIÓN

Existen eventos fisiológicos y factores ambientales que pueden alterar la vascularización de los tejidos y del flujo sanguíneo de los búfalos de agua (Mota-Rojas et al., 2021a,b,c; Mota-Rojas et al., 2022a,b), lo cual se puede expresar en la temperatura superficial de la piel, dada su función como sistema de enfriamiento que irradia el calor (Purohit et al., 1985; Cravello y Ferri, 2008; de Ruediger et al., 2018; Mota-Rojas et al., 2019a,b,c; Mota-Rojas et al., 2020a,b; Bertoni et al., 2022; Mota-Rojas et al., 2021a,b,c; Mota-Rojas et al., 2022a,b). Se han utilizado diferentes métodos para medir los cambios de temperatura que presentan diferentes especies en circunstancias variadas, pero la mayoría de ellos se caracterizan por ser invasivos. Por ello, algunos de estos cambios podrían estar influenciados por el estrés generado en los animales tras su manipulación (Clapper et al., 1990; Fisher et al., 2008; Kyle et al., 1998; Mosher et al., 1990; Redden et al., 1993; Sevegnani et al., 2016; Mota-Rojas et al., 2021d; Rodríguez-González et al., 2022; Rodríguez-González et al., 2023).

En respuesta a lo anterior, recientemente se está recurrido a la termografía infrarroja (IRT), una tecnología no invasiva que permite la medición precisa de la temperatura superficial de alguna región de los animales a más de 30 centímetros y hasta 5 m de distancia,

facilitando así la identificación de alteraciones térmicas caracterizadas por una variación de la temperatura en la superficie cutánea) (Chacur et al., 2016; Sevegnani et al., 2016; Menegassi et al., 2018; Bertoni et al., 2020; Casas-Alvarado et al., 2020; Mota-Rojas et al., 2020a,b; Mota-Rojas et al., 2021a,b,c; Mota-Rojas et al., 2022a,b).

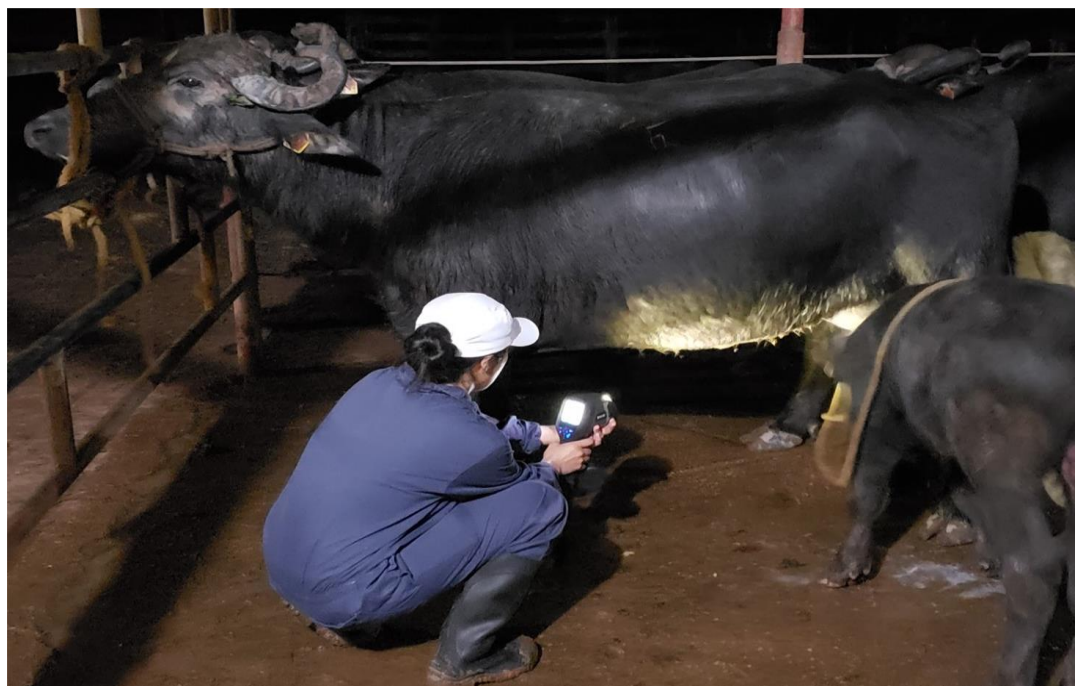


Figura 1. Uso de termografía infrarroja en el trópico húmedo. El uso de esta herramienta es trascendental ya que no implica interacción directa con los animales. La termografía infrarroja en especies emergentes auxilia en el conocimiento y comprensión de particularidades fisiológicas con la finalidad de generar estrategias que contribuyan al manejo correcto del hato y favorezca niveles adecuados tanto de productividad como de bienestar animal (Mota-Rojas et al., 2021a,b,c; Mota-Rojas et al., 2022a,b).

La termografía infrarroja ha abierto nuevas perspectivas sobre la fisiología comparativa de eventos como la termogénesis, el flujo sanguíneo periférico, la fisiología respiratoria y mecanismos para reducir la temperatura corporal (Tattersall y Cadena, 2010; Tattersall, 2016; Napolitano et al., 2022; Rodríguez-González et al., 2023). En medicina veterinaria, esta herramienta ha sido utilizada para monitorear y estimar los cambios de temperatura de animales por efecto del ambiente, para evaluar sus respuestas fisiológicas a altas temperaturas (Knizkova et al., 2007; Paim et al., 2013; Mota-Rojas et al., 2020a,b), así como también para evaluar los cambios de temperatura cutánea, en la evaluación de mastitis en vacas lecheras (Colak et al., 2008), cambios en el sistema locomotor de caballos y rumiantes (Alsaad and Büscher, 2012; Stewart et al., 2010) y para valorar el efecto de la castración en cerdos (Pérez-Pedraza et al., 2018), entre los más destacados (Mota-Rojas et al., 2021a,b,c; Mota-Rojas et al., 2022a,b)

Sin embargo, es reciente su uso en el estudio de los procesos fisiológicos, reproductivos y de la salud, expresados por búfalos de agua (*Bubalus bubalis*), una especie que ha sido adoptada en sistemas de producción en regiones tropicales dada su resistencia a enfermedades infecciosas y parasitarias (Angulo et al., 2005; Barboza, 2011) y a su eficiente desempeño productivo (Mota-Rojas et al., 2019a; Mota-Rojas et al., 2021a,b,c; Mota-Rojas et al., 2022a,b). Por tal motivo, en el presente artículo de revisión se analizan y discuten los hallazgos científicos más relevantes en el estudio de la microcirculación vascular en el búfalo de agua con el apoyo de esta herramienta, así como las ventanas térmicas empleadas en la especie, con el propósito de definir los alcances y las áreas de oportunidad del empleo de la termografía infrarroja para la evaluación de procesos fisiológicos y su aplicación en eventos reproductivos, en la detección del estro y en la salud de la ubre.

VENTANAS TÉRMICAS EN EL BÚFALO DE AGUA

Los animales endotermos regulan la temperatura de su cuerpo, equilibrando el calor producido metabólicamente y ejerciendo un intercambio de temperatura con el medio ambiente (Tortora y Derrickson, 2013; Mota-Rojas et al., 2021a,b,c,d). A pesar de que este mecanismo puede suscitarse en cualquier parte del cuerpo, algunas regiones específicas poseen características que optimizan el intercambio de calor, como el disponer de un área de superficie amplia, rica en vascularidad y, principalmente, con la capacidad de alterar el flujo sanguíneo bajo condiciones diferentes. Dichas regiones se denominan ventanas térmicas biológicas (Romanovsky et al., 2002; Andrade, 2015; Mota-Rojas et al., 2021a,b,c,d).

Una de las ventanas más utilizadas ha sido la región ocular, la cual aumenta la precisión y consistencia al emplearse (Church et al., 2014). Así mismo, un estudio en bovinos ha demostrado que la temperatura registrada en el área frontal resulta ser la que mejor refleja la temperatura rectal, en comparación con los flancos, ubre, grupa, oídos y mejillas (Peng et al., 2019). En búfalas de agua, al menos en aquellas que han sido criadas en un ambiente tropical húmedo, la temperatura ocular y de la mejilla han mostrado una correlación positiva significativa con la temperatura rectal (Brcko et al., 2020).

Otras regiones que se han empleado como ventanas térmicas para la evaluación de cambios en la temperatura superficial de búfalos de agua frente a diversas condiciones han sido la región orbital, el morro, los flancos, la ubre, la vulva y el área escrotal (**Ver Figuras 2 y 3**). Sin embargo, la alternativa de cada una de las áreas antes referidas, así como su eficacia como ventanas dependerá del evento a estudiar, como se mostrará a continuación.

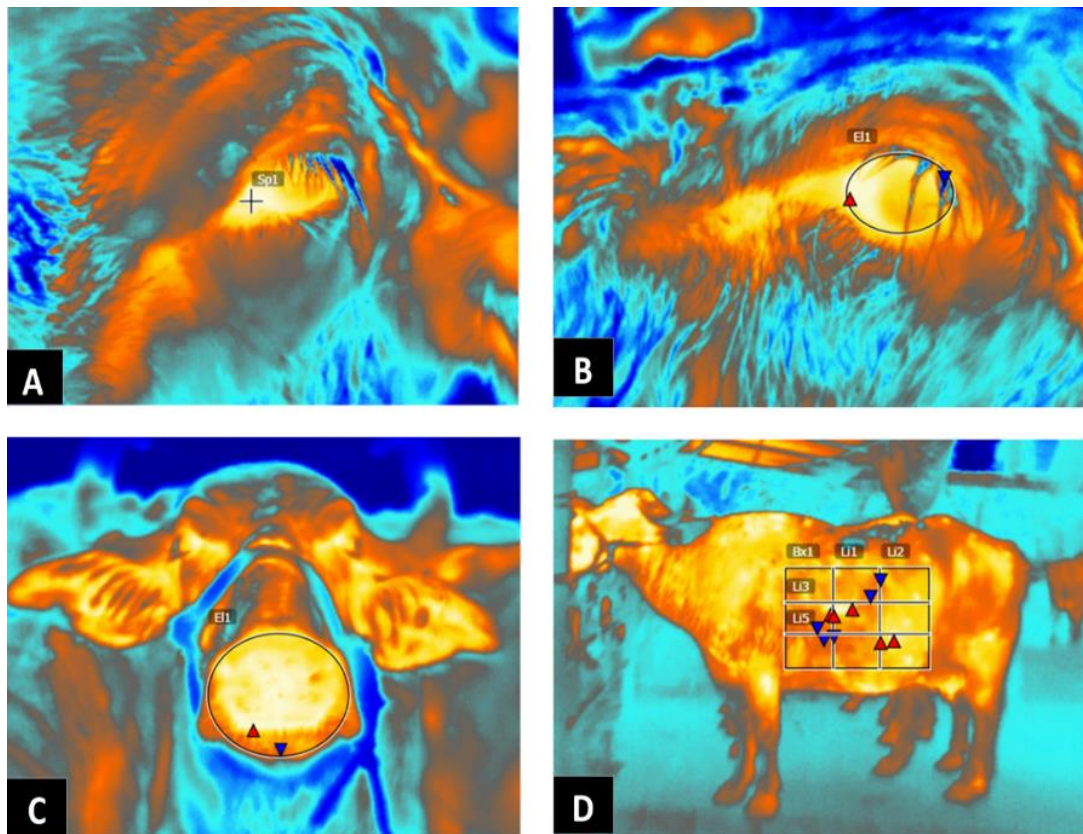


Figura 2. Ventanas térmicas oculares, morro y región lateral en el búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) captadas mediante termografía infrarroja. (Termogramas Mota-Rojas et al., 2018).

En la **figura 2A** y **2B**, se aprecian la temperatura ocular que ha sido una de las áreas más estudiadas con la termografía infrarroja, debido a que es una buena ventana térmica que evidencia los cambios de la temperatura corporal atribuidos a una respuesta simpática del sistema nervioso autónomo (Travain et al., 2015; Mota-Rojas et al., 2021a,b,c,d).

De acuerdo con Barros et al. (2016) y Ruediger et al. (2018), la región ocular es la que mejor revela la temperatura rectal y la que menos interferencia de la temperatura ambiental experimenta. En el termograma obtenido con una emisividad de 0.95, esta región está rodeada por una elipse que abarca todo el globo ocular. En el termograma 2C, se distingue el morro. Ruediger et al. (2018) han documentado que el morro refleja la temperatura rectal de manera rápida, precisa y menos invasiva, por lo que puede adoptarse para estudiar el confort térmico de las búfalas lecheras. En el termograma se pueden dibujar tres círculos, uno que rodea la periferia del morro como se ve en la imagen y también se pueden dibujar las narinas (fosas nasales). Cabe destacar que al tomar imágenes termográficas rostrales también es posible evaluar la temperatura otal colocando una elipse que rodee el pabellón auricular. **2D**) Región lateral. Barros et al. (2016) señalan que tanto el flanco derecho como el izquierdo pueden utilizarse como ventana termográfica cuando hay dificultad para analizar la región orbital, aunque se debe tomar en cuenta que el área del

flanco izquierdo presenta una elevación de temperatura preprandial (Montanholi et al., 2008). En el termograma la ventana térmica se señala por un rectángulo en cuadrícula.

EVALUACIONES ANDROLÓGICAS

En el proceso de termorregulación del área escrotal, el cono vascular testicular ubicado en la región superior de los testículos, posee la función de intercambiar calor a contracorriente, disminuyendo la temperatura de la sangre arterial antes de que ingrese al testículo. La trascendencia de este hecho se relaciona directamente con la viabilidad del espermatozoide, pues el aumento de temperatura testicular eleva la probabilidad de alterar la espermatogénesis, afectando la movilidad, viabilidad y morfología de los espermatozoides (Kastelic et al., 2018). Ante ello, la IRT se ha revelado como una herramienta eficiente para identificar daños testiculares causados por estrés, por calor, o por procesos inflamatorios de tipo agudo, dado que ambos procesos derivan en la modificación de la temperatura escrotal (Menegassi et al., 2018).

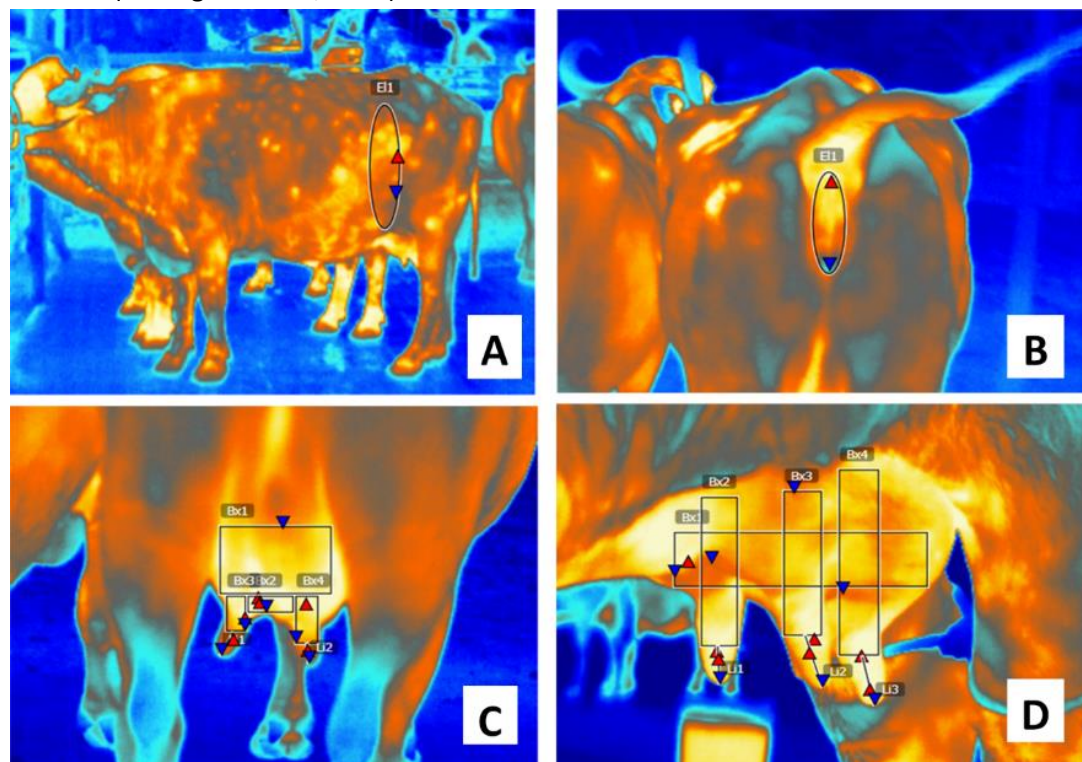


Figura 3. Ventanas térmicas en la región del ljar (región lateral del vientre), vulvar y de la ubre en el búfalo de agua latinoamericano. A) ljar. En el termograma esta zona se encuentra rodeada por una elipse. B) Vulva. De acuerdo con Barros et al. (2016), la vulva es una excelente ventana térmica para determinar los cambios fisiológicos inherentes a la variación de la concentración de progesterona durante el ciclo reproductivo de la búfala. En el termograma la periferia de la vulva se encuentra rodeada por una elipse. C) Ubre posterior y D) Ubre lateral y pezones. (Termogramas Mota-Rojas et al., 2022).

Yadav et al. (2019), partiendo de la premisa de que la termografía puede ser utilizada para evaluar la fertilidad de toros de carne (Lunstra y Coulter, 1993), condujo una investigación para evaluar el efecto del gradiente de temperatura de la superficie escrotal (al determinar la diferencia entre la temperatura del área dorsal y ventral del escroto), el grosor del recubrimiento testicular y la circunferencia escrotal en la calidad del semen de 130 búfalos Murrah para cría, que se encontraban en distintas regiones de la India, donde se presentaba un rango de temperatura de entre 40 a 48°C en verano y una mínima de 1 a 4°C en invierno. Para ello, recurrieron a una cámara infrarroja, con la que registraron la temperatura superficial escrotal de cada búfalo un día antes de la colecta de semen; ultrasonografía, con la que se calculó el grosor del recubrimiento testicular en 38 búfalos y una cinta métrica para calcular la circunferencia escrotal. A pesar de que en los resultados no se detectó una variación en el volumen del eyaculado, probablemente porque las glándulas sexuales accesorias no se afectaron por los cambios de temperatura en el escroto, resultó una mejor motilidad (3.73 ± 0.08) y una mayor concentración espermática (1265.64 ± 30.05 millones/ml) en el grupo III, que poseía un gradiente de temperatura más elevado (por aproximadamente 0.1 a 2.5°C) que los otros grupos. Aunado a una menor cantidad de anomalías espermáticas (7.72 ± 0.77 vs. $11.43 \pm 1.28\%$ del grupo II) en aquellos búfalos con menor grosor del recubrimiento testicular que conformaban el grupo I, aspecto que puede atribuirse a que estos animales presentan una mayor pérdida de calor escrotal y una mayor termorregulación.

El aumento de grosor del escroto se puede asociar con la deposición de tejidos grasos, que actúan como aislantes, suprimiendo la termorregulación testicular al disminuir la cantidad de calor que puede irradiarse del escroto (Coulter et al., 1997; Yadav et al., 2019).

Considerando que la temperatura testicular debe ser entre 4 y 6°C menor que la temperatura corporal central para que no se trastorne el parénquima testicular (García et al., 2010; Kastelic, 2014), los autores concluyen que los búfalos con una mejor capacidad de termorregulación escrotal producen semen con esperma de mayor calidad, razón por la que se debe evitar los factores que alteren el confort térmico (Kastelic and Brito, 2012; Santos et al., 2014). Además no menos importante la termografía escrotal junto con la medición de la circunferencia escrotal y el grosor del testículo, resultan útiles para valorar la calidad del semen producido por los búfalos (Luzi et al., 2013; Malama et al., 2013).

DIAGNÓSTICO DEL ESTRO

Uno de los principales obstáculos a los que se ha enfrentado la ganadería bufalina productora de leche radica en la identificación y detección del estro, lo que suele repercutir en un bajo rendimiento reproductivo (Verma et al., 2014; Mota-Rojas et al., 2021a,b,c,d; Mota-Rojas et al., 2022a,b). Con relación a ello, la expresión conductual ha sido un recurso para su identificación; sin embargo, las búfalas solo tienen este tipo de manifestaciones cuando el macho está próximo a ellas (Selvam y Archunan, 2017).

Se han propuesto técnicas de tipo bioquímico y ginecoclínicas, así como parámetros visuales (observar la frecuencia de micción y la textura de la mucosa vaginal) para identificar el estro de forma individual en búfalas (Selvam y Archunan, 2017). Sin embargo, la detección del estro por medio de estos parámetros podría suponer un mayor costo e inversión de tiempo para su valoración, por lo que surge la necesidad de explorar nuevas opciones para este fin. Para una mayor revisión sobre el tema en la implementación de nuevas tecnologías reproductivas se recomienda consultar a Napolitano et al. (2019).

Por otro lado, Ruediger et al. (2018) llevaron a cabo un estudio con 40 búfalos Murrah, con una condición corporal de 3.6 ± 0.3 (rango: 1-5), cuyo objetivo se centró en analizar las variaciones de temperatura del morro, el área orbital y la vulva, las concentraciones de progesterona (P_4) durante la fase folicular y lútea del ciclo estral, así como la influencia del clima en búfalas tratadas con un protocolo hormonal diseñado para sincronizar el tiempo de ovulación. Ello con el fin de evaluar si los cambios microcirculatorios medidos a través de IRT se podrían utilizar en la detección de estros, considerando que los búfalos no expresan comportamiento homosexual que auxiliara en su detección (Singh et al., 2000; Hockey et al., 2009).

Una vez iniciado el protocolo hormonal (que consistió en dos fases: i- inserción de un dispositivo intravaginal liberador de P_4 con 2 mg de benzoato de estradiol; ii- la administración de prostaglandina F_2 alfa y 400 UI de gonadotropina equina, nueve días después, seguido de un tratamiento con GnRH en el día 11). Se tomaron muestras de sangre y ultrasonografía todos los días por las tardes, datos meteorológicos e imágenes termográficas del morro, vulva y región orbital, durante la mañana y la tarde, seguidas de la toma de temperatura rectal.

Se estimó una correlación de moderada a fuerte entre las ventanas térmicas y las concentraciones plasmáticas de cortisol (orbital: 0.69; morro: 0.54; vulva: 0.42). En cambio, al analizar la relación de la concentración de P_4 con la temperatura superficial de la vulva se calcularon fuertes correlaciones negativas (-0.70), corroborando la hipótesis de que la temperatura superficial de la vulva decrece cuando aumenta al P_4 en el plasma, coincidiendo con lo propuesto por Sykes et al. (2012). Mientras que entre la temperatura superficial del morro y la región orbital, las correlaciones negativas fueron débiles (-0.24 y -0.29, respectivamente). Scolari et al. (2011) y Talukder et al. (2014) han subrayado que la variación de temperatura en la vulva probablemente se vincule al cambio en las concentraciones sanguíneas de estrógenos que ocurren durante el ciclo estral, pudiendo alterar la circulación sanguínea en la vulva. Aunque no hubo eficacia en el diagnóstico del estro, se demostró que las imágenes termográficas de la región orbital, morro y vulva reflejan la temperatura rectal de manera rápida y poco invasiva, por lo que pueden adoptarse para estudiar el confort térmico de la búfala de agua y que, de manera específica, la temperatura superficial vulvar es efectiva para visualizar los cambios fisiológicos inherentes a la variación de la concentración de P_4 durante el ciclo reproductivo (de Ruediger et al., 2018).

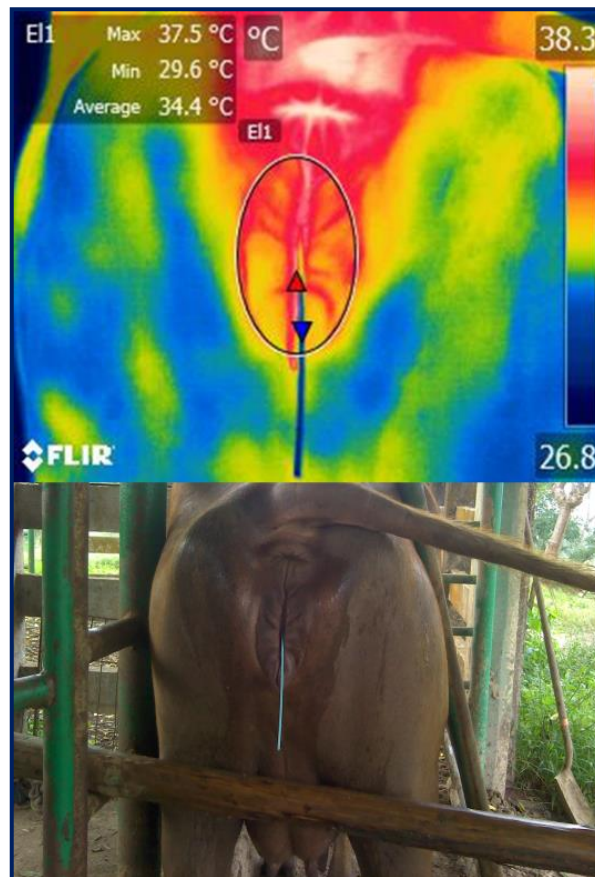


Figura 4. Uso de inseminación a tiempo fijo en el trópico húmedo mexicano. La estacionalidad reproductiva y la dificultad para detectar el celo en las búfalas ha motivado al uso del macho marcador y la adopción de biotecnologías como la sincronización de estro, favoreciendo mayor control del momento óptimo de inseminación, generar lotes con potencial para producir gran parte del año y mejorar genéticamente a partir del uso de semen proveniente de países con programas de mejoramiento genético avanzados, entre los cuales resalta Italia con la raza mediterránea, ya que genera indicadores en función de estimaciones genéticas y de pedigrí, relacionados con características de salud, tipo, productivas y reproductivas (Bertoni et al., 2020). En ese contexto, el uso de termografía infrarroja se ha revelado como una herramienta no invasiva, con potencial para detectar los celos de las búfalas.

SALUD DE LA UBRE DE BÚFALAS LECHERAS

La valoración termográfica de la ubre es cada vez más frecuente y los estudios se han enfocado a evaluar la salud en vacas lecheras, principalmente en cuanto a la relación entre la temperatura superficial de la ubre y la puntuación obtenida en la prueba de California, sugiriendo así que la IRT también puede servir como herramienta para la detección de mastitis (Colak et al., 2008; Mota-Rojas et al., 2021a,b,c,d; Mota-Rojas et al., 2022a,b; Napolitano et al., 2022).

La asociación entre parámetros térmicos mamarios y concentraciones hormonales en búfalas en diferentes etapas fisiológicas ha sido objeto de estudio de Chacur et al. (2018), quienes emplearon 24 búfalas hembras mestizas Murrah agrupadas en: becerras (8 meses de edad), novillas (20 meses de edad), gestantes (32 meses de edad) y lactantes (56 meses de edad); con seis individuos por grupo. Esta investigación se llevó a cabo durante cuatro meses, tomando cada 28 días los siguientes datos: temperatura rectal e imágenes termográficas de la ubre (cuerpo mamario craneal y caudal, cisterna craneal y caudal de glándulas mamarias, y tetas craneales y caudales), así mismo se tomaron muestras sanguíneas para determinar las concentraciones plasmáticas de P_4 , un factor similar a la insulina tipo I, insulina, hormona del crecimiento y estradiol.

La temperatura superficial de los cuartos mamarios craneales y caudales fue más elevada en el grupo de becerras y novillas (Chacur et al., 2018), hallazgo que coincide con la literatura que menciona que las hembras adultas presentan mayor proporción de tejido adiposo en la estructura mamaria (Hovey y Aimo, 2010). Este tejido podría fungir como un aislante térmico y, en consecuencia, dificulta la disipación de calor a través de la piel. En el grupo de las búfalas gestantes se estimó una correlación entre la temperatura rectal y la temperatura de los pezones craneales y caudales, que a su vez estaba ligada a la temperatura de los cuartos mamarios y su cisterna, lo que denota la existencia de una relación entre la variación de la temperatura y la evolución de la demanda fisiológica de la ubre (Chacur et al., 2018). El desarrollo mamario al final del periodo de la gestación es intenso y existe mayor vascularización y, por ende, mayor temperatura (Prosser et al., 1996; Davidson y Stabenfeldt, 2014).

Otro aspecto sobresaliente en el grupo de las búfalas lactantes del estudio de Chacur et al. (2018), es una reducción de la temperatura rectal y de la superficie de la cisterna, hecho que puede estar relacionado con la disminución de la actividad metabólica y el flujo sanguíneo que ocurre durante la involución mamaria y, como consecuencia, reducción de la producción láctea (Capuco y Akers, 1999).

De esta forma, dichos resultados evidencian la conexión entre la temperatura corporal y la temperatura superficial de la ubre, que obedece a las demandas metabólicas de ambos y que puede ser estudiada con la IRT (Chacur et al., 2018), siempre ponderando que la temperatura puede oscilar dependiendo de la región de la ubre que se evalúe como se muestra en la **Figura 5**.

Los termogramas en la **figura 3** se tomaron inmediatamente después del ordeño mecánico automatizado en las búfalas. Aunado a ello, se debe considerar que, al menos en ganado bovino de carne, en ocasiones la temperatura superficial de la región caudal de la ubre por IRT es diferente y, generalmente, mayor (por 0.2-0.9°C), a la de una toma lateral; además de que la temperatura de la ubre lateral puede oscilar significativamente dependiendo de la estación del año y de la etapa reproductiva (Deak et al., 2019).

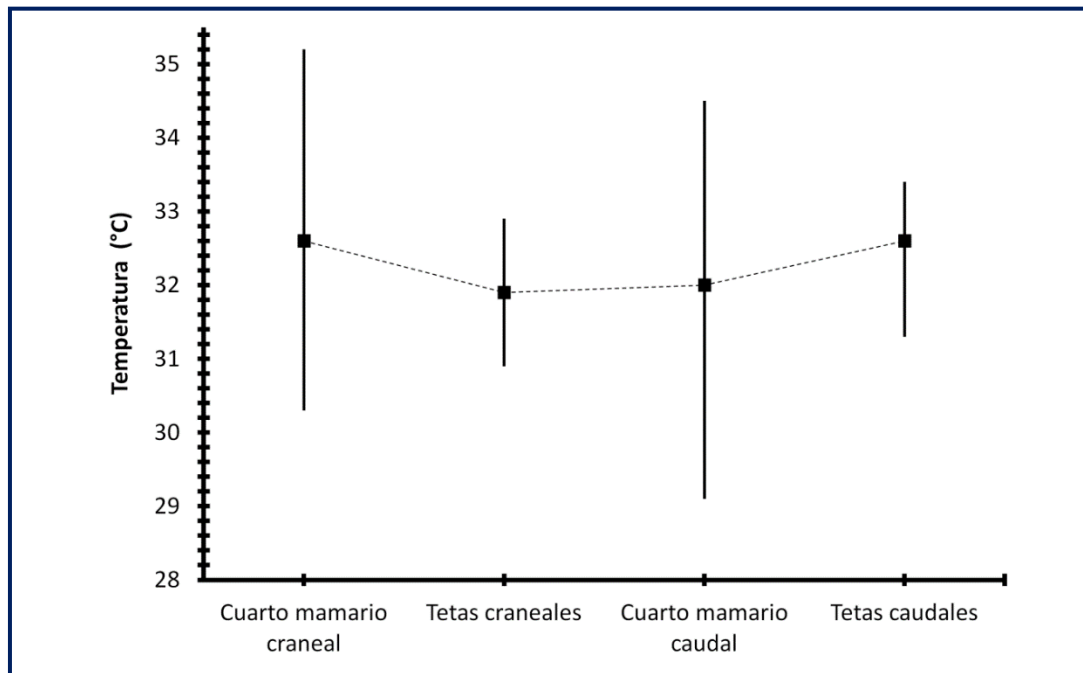


Figura 5. Temperatura superficial de distintas regiones de la ubre de búfala de agua lechera (*Bubalus bubalis*). Se aprecia que la temperatura superficial de los cuartos frontales es mayor que la detectada en los cuartos caudales (32.6 vs. 32°C), mientras que la temperatura superficial de los pezones caudales es mayor que la de los pezones craneales (32.6 vs. 31.9°C). A pesar de las diferencias, la temperatura de los cuatro cuartos se comporta de manera similar y registra una temperatura mínima menor a la de los pezones (Mota-Rojas et al., 2021a,b,c,d; Mota-Rojas et al., 2022a,b)

TEMPERATURA SUPERFICIAL DE BÚFALAS EN EL ORDEÑO

De acuerdo con Sevegnani et al. (2016), las búfalas lecheras que permanecen en las salas de espera para el ordeño pueden pasar por un periodo de estrés al exponerse a temperaturas altas mientras esperan, particularmente en sitios que no cuentan con sombra, lo que aunado a su deficiente capacidad de termorregulación, puede interferir en sus índices productivos, por lo que parece ser indispensable el desarrollo de estudios termográficos durante la rutina de ordeño.

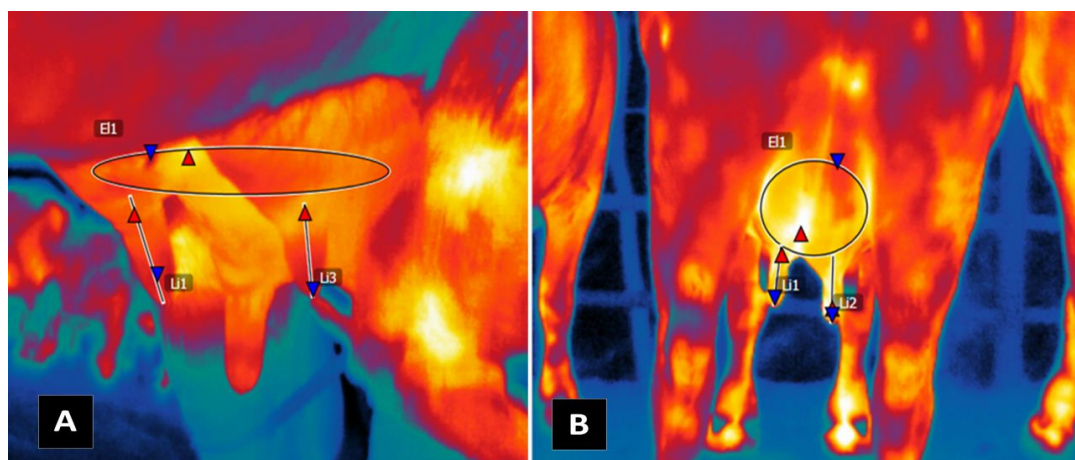


Figura 6. Termogramas infrarrojos de la región lateral izquierda (A) y caudal (B) de la ubre de la búfala de agua inmediatamente después de concluido el ordeño mecánico convencional. Se observan áreas con una coloración amarillenta o blanquecina que representan las zonas con mayor temperatura (de aproximadamente 34.5°. En el termograma (C), se aprecia como estas coloraciones abarcan un 30% de la superficie de los cuartos frontales y un 20% de los pezones craneales. En contraste, se observa que en los cuartos traseros estas coloraciones antes descritas, abarcan un 80% de la superficie de la ubre y un 100% de los pezones caudales. La presencia de temperaturas más elevadas en el área caudal de los cuartos mamarios coincide con lo observado en bovinos lecheros criados en condiciones tropicales (Mota-Rojas et al., 2021a,b,c,d; Mota-Rojas et al., 2022a,b).

En la **figura 7** se muestran las temperaturas superficiales promedio de diferentes ventanas térmicas de 20 búfalas lecheras mantenidas en potreros en el trópico húmedo mexicano. Las mediciones mediante IRT comprenden toda la rutina de ordeño manual en diferentes etapas que van desde su estancia en el potrero y antes de entrar a la represa, previo al ordeño, hasta inmediatamente después de concluido el ordeño (Ver **Figura 7**). La temperatura superficial más baja, independientemente de la etapa, está en el flanco y la temperatura superficial promedio más alta está en la carúncula lagrimal.

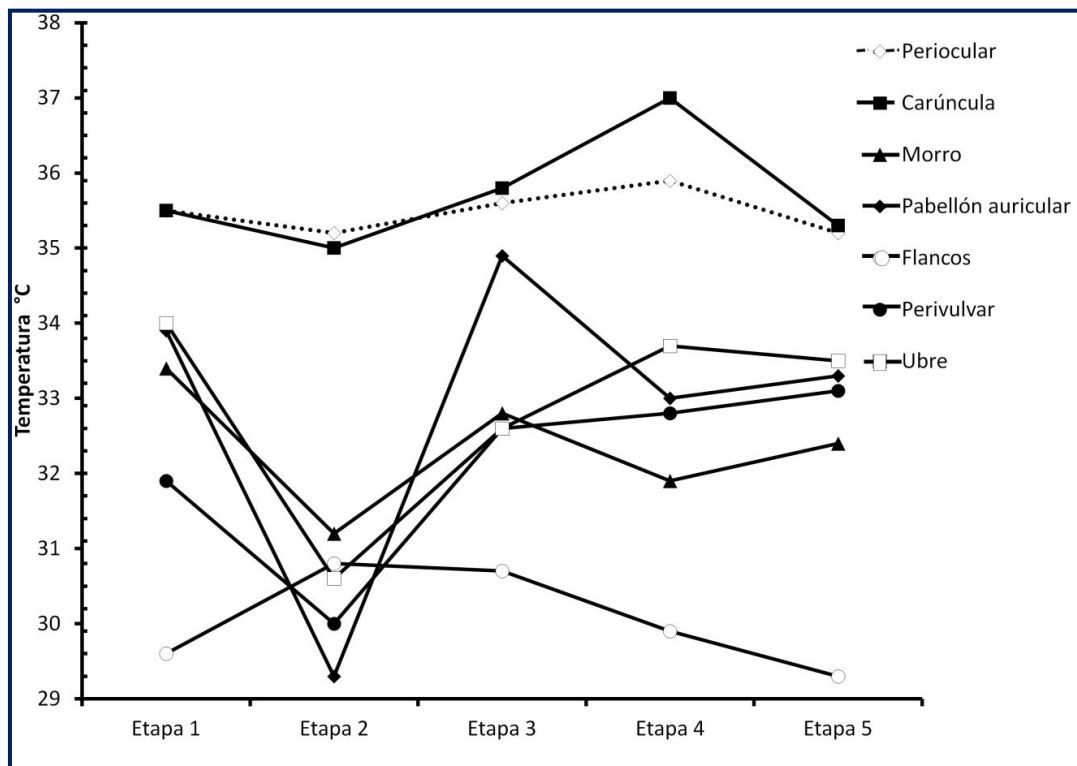


Figura 7. Cambios térmicos registrados por IRT en región periocular, carúncula lagrimal, morro, pabellón auricular, ijar, perivulvar y ubre de la búfala de agua durante la rutina de ordeño manual. Etapa 1) Antes de entrar a la represa. Etapa 2) Previo al estímulo del becerro. Etapa 3) Durante la estimulación con el becerro. Etapa 4) Durante el ordeño. Etapa 5) Después del ordeño. (Mota-Rojas et al., 2021a,b,c,d; Mota-Rojas et al., 2022a,b).

Además, se distingue que las temperaturas que menos fluctúan se originan en la región periocular y en la carúncula lagrimal, áreas que, como se apuntó anteriormente, padecen menos la interferencia de la temperatura ambiental (Barros et al., 2016; de Ruediger et al., 2018).

Por otro lado, podría afirmarse que la temperatura promedio obtenida a través de las diferentes ventanas térmicas sigue la misma tendencia: disminuye después de entrar a la represa, aumenta con la estimulación del becerro y posteriormente con el inicio del ordeño, para finalmente descender o mantenerse cercana a la temperatura que registraba en la Etapa 1. No obstante, se debe señalar que la temperatura del ijar, morro y pabellón auricular no siempre siguen dicha tendencia. En el caso del ijar, podría considerarse que la influencia de la temperatura ambiental (Barros et al., 2016; Martello et al., 2010) propició un incremento de 1°C en la Etapa 2; sin embargo, se requiere de un análisis más fino para determinar si el descenso de la temperatura de estas tres ventanas térmicas durante la

Etapa 4 se puede explicar por una redistribución de la microcirculación dérmica hacia la ubre que está siendo estimulada con el ordeño.

CONSIDERACIONES FINALES

Con la evidencia científica disponible se ha demostrado que, al igual que en otras especies, se puede utilizar la IRT y diferentes ventanas térmicas del búfalo para la valoración de procesos fisiológicos de forma rápida y menos invasiva respecto a otros métodos.

La temperatura del área orbital, así como del morro y la vulva, han mostrado su pertinencia y relevancia para evaluar el confort térmico, aspecto de suma importancia en esta especie dada las condiciones climáticas adversas y sus limitaciones de termorregulación, así como su constante exposición a temperaturas extremas, que son típicas del trópico húmedo.

Por otro lado, en los machos la evaluación de la temperatura escrotal se ha revelado como una herramienta apropiada para valorar el efecto en la calidad del semen, mientras que la temperatura superficial de la ubre ha mostrado su utilidad para evaluar el desarrollo mamario en las búfalas, ambos aspectos de relevancia zootécnica.

La termografía infrarroja puede sufrir interferencias por modificaciones ambientales, por lo que se recomienda continuar con su estudio como técnica complementaria en el examen reproductivo, para determinar si realmente tienen potencial en la detección del estro, lo cual sería de gran utilidad en la gestión de los sistemas de producción. De igual manera, es necesario que se desarrollen estudios termográficos suplementarios enfocados a evaluar el bienestar del búfalo, pues gracias a este conocimiento podrían proponerse soluciones a problemáticas que perturban tanto el bienestar como la producción de estos animales.

REFERENCIAS

- Alsaad, M., Büscher, W., 2012. Detection of hoof lesions using digital infrared thermography in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95, 735–742. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4762>
- Andrade, D.V., 2015. Thermal windows and heat exchange. *Temperature* 2, 451–451. <https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1040945>
- Angulo, R.A., Noguera, R.R., Berdugo, J.A., 2005. The water buffalo (*Bubalus bubalis*): an efficient user of nutrients; aspects of fermentation and ruminal digestion. *Livest. Res. Rural Dev.* 17.
- Barboza, J.G., 2011. Bondades ecológicas del búfalo de agua: camino hacia la certificación. *Tecnol. en Marcha* 24, 82–88.
- Barros, D.V., Silva, L.K.X., Kahwage, P.R., Lourenço Júnior, J.B., Sousa, J.S., Silva, A.G.M., Franco, I.M., Martorano, L.G., Garcia, A.R., 2016. Assessment of surface temperatures of buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) raised under tropical conditions using infrared thermography. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 68, 422–430. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8327>
- Bertoni, A., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macias, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I., Morales-Canela, A., Gómez-Prado, J., José-Pérez, N., Martínez-Burnes, J., 2020. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 8, 288–297. doi.org/10.31893/jabb.20038

- Bertoni, A., Álvarez-Macías, A., Mota-Rojas, D., Santos-Chávez, V.M., 2022. Sustainable water buffalo systems in the Latin American humid tropics: an agroecology approach. *Revista de Geografía Agrícola* núm. 69, 127-146. [dx.doi.org/10.5154/r.rga.2022.69.06](https://doi.org/10.5154/r.rga.2022.69.06)
- Brcko, C.C., Silva, J.A.R. da, Martorano, L.G., Vilela, R.A., Nahúm, B. de S., Silva, A.G.M., Barbosa, A.V.C., Bezerra, A.S., Lourenço Júnior, J. de B., 2020. Infrared Thermography to Assess Thermoregulatory Reactions of Female Buffaloes in a Humid Tropical Environment. *Front. Vet. Sci.* 7. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00180>
- Capuco, A. V., Akers, R.M., 1999. Mammary Involution in Dairy Animals. *J. Mammary Gland Biol. Neoplasia* 4, 137–144. <https://doi.org/10.1023/A:1018769022990>
- Casas-Alvarado, A., Mota-Rojas, D., Hernández-Ávalos, I., Mora-Medina, P., Olmos-Hernández, A., Verduzco-Mendoza, A., Martínez-Burnes, J., 2020. Advances in infrared thermography: surgical aspects, vascular changes and pain monitoring in veterinary medicine. *J. Thermal Biol.* 92,102664.
- Chacur, M.G.M., Bastos, G.P., Vivian, D.S., Da Silva, L., Chiari, L.N. de F., Araujo, J.D.S., Souza, C.D. de, Filho, L.R.A.G., 2016. Use of infrared thermography to evaluate the influence of the of Climatic Factors in the Reproduction and Lactation of Dairy Cattle. *Acta Sci. Vet.* 44. <https://doi.org/10.22456/1679-9216.81287>
- Chacur, M.G.M., Dantas, A., Oba, E., Ruediger, F.R., Oliveira, R.A., Bastos, G.P., Jorge, A.M., 2018. Avaliação termográfica do desenvolvimento mamário de búfalas e sua regulação endócrina em distintos estágios fisiológicos. *Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec.* 70, 450–456. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9683>
- Church, J.S., Hegadoren, P.R., Paetkau, M.J., Miller, C.C., Regev-Shoshani, G., Schaefer, A.L., Schwartzkopf-Genswein, K.S., 2014. Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle. *Res. Vet. Sci.* 96, 220–226. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2013.11.006>
- Clapper, J.A., Ottobre, J.S., Ottobre, A.C., Zartman, D.L., 1990. Estrual rise in body temperature in the bovine I. Temporal relationships with serum patterns of reproductive hormones. *Anim. Reprod. Sci.* 23, 89–98. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(90\)90051-G](https://doi.org/10.1016/0378-4320(90)90051-G)
- Colak, A., Polat, B., Okumus, Z., Kaya, M., Yanmaz, L.E., Hayirli, A., 2008. Short Communication: Early Detection of Mastitis Using Infrared Thermography in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 91, 4244–4248. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1258>
- Coulter, G.H., Cook, R.B., Kastelic, J.P., 1997. Effects of dietary energy on scrotal surface temperature, seminal quality, and sperm production in young beef bulls. *J. Anim. Sci.* 75, 1048. <https://doi.org/10.2527/1997.7541048x>
- Cravello, B., Ferri, A., 2008. Relationships between skin properties and environmental parameters. *Ski. Res. Technol.* 14, 180–186. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0846.2007.00275.x>
- Davidson, P.A., Stabenfeldt, H.G., 2014. A glândula mamária, in: Klein, G.. (Ed.), *Cunningham Tratado de Fisiología Veterinária*. Elsevier, Rio de Janeiro, pp. 439–449.
- de Ruediger, F.R., Yamada, P.H., Bicas Barbosa, L.G., Mungai Chacur, M.G., Pinheiro Ferreira, J.C., de Carvalho, N.A.T., Milani Soriano, G.A., Codognoto, V.M., Oba, E., 2018. Effect of estrous cycle phase on vulvar, orbital area and muzzle surface temperatures as determined using digital infrared thermography in buffalo. *Anim. Reprod. Sci.* 197, 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.08.023>
- Deak, F.L.G.B., Chacur, M.G.M., Souza, C.D. de, Andrade, I.B., Cornacini, G.F., Garcia, A.R., Gabriel, L.R.A., 2019. Effects of physiological stage and season on infrared thermograms of different body areas of dairy cows raised under tropical conditions. *Anim. Reprod.* 16, 311–316. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2017-0023>
- Fisher, A.D., Morton, R., Dempsey, J.M.A., Henshall, J.M., Hill, J.R., 2008. Evaluation of a new approach for the estimation of the time of the LH surge in dairy cows using vaginal temperature and electrodeless conductivity measurements. *Theriogenology* 70, 1065–1074. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.06.023>
- Garcia, O.S., Vale, W.G., Garcia, A.R., Ribeiro, H.F.L., Ferro, R.S., RolimFilho, S.T., Sousa, E.M., 2010. Experimental study of testicular insulation in buffalo. *Rev. Vet.* 21, 889–891.

- Hockey, C., Morton, J., Norman, S., McGowan, M., 2009. Evaluation of a neck mounted 2-hourly activity meter system for detecting cows about to ovulate in two paddock-based Australian dairy herds. *Reprod. Domest. Anim.* 45, 107-117. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2009.01531.x>
- Hovey, R.C., Aimo, L., 2010. Diverse and Active Roles for Adipocytes During Mammary Gland Growth and Function. *J. Mammary Gland Biol. Neoplasia* 15, 279-290. <https://doi.org/10.1007/s10911-010-9187-8>
- Kastelic, J., Brito, L., 2012. Ultrasonography for Monitoring Reproductive Function in the Bull. *Reprod. Domest. Anim.* 47, 45-51. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2012.02042.x>
- Kastelic, J.P., 2014. Understanding and evaluating bovine testes. *Theriogenology* 81, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.09.001>
- Kastelic, J.P., Rizzoto, G., Thundathil, J., 2018. Review: Testicular vascular cone development and its association with scrotal thermoregulation, semen quality and sperm production in bulls. *Animal* 12, s133-s141. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001167>
- Knizkova, I., Kunc, P., Gurdil, G.A.K., Pinar, Y., Selvi, K.C., 2007. Applications of infrared thermography in animal production. *J. Fac. Agr.* 22, 329-336.
- Kyle, B., Kennedy, A., Small, J., 1998. Measurement of vaginal temperature by radiotelemetry for the prediction of estrus in beef cows. *Theriogenology* 49, 1437-1449. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(98\)00090-9](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(98)00090-9)
- Lunstra, D., Coulter, G., 1993. Scrotal Thermography as a Tool for Predicting Semen Quality and Natural-Mating Fertility in Young Beef Bulls. *Rom. L. Hruska U.S. Meat Anim. Res. Cent.*
- Luzi, F., Mitchell, M., Nanni Costa, L., Redaelli, V., 2013. Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine., *Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine. Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e zootecniche, Italy.*
- Malama, E., Bollwein, H., Taitzoglou, I.A., Theodosiou, T., Boscós, C.M., Kiossis, E., 2013. Chromatin integrity of ram spermatozoa. Relationships to annual fluctuations of scrotal surface temperature and temperature-humidity index. *Theriogenology* 80, 533-541. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.05.019>
- Martello, L.S., Savastano Junior, H., Silva, S.L., Balieiro, J.C.C., 2010. Alternative body sites for heat stress measurement in milking cows under tropical conditions and their relationship to the thermal discomfort of the animals. *Int. J. Biometeorol.* 54, 647-652. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0268-6>
- Menegassi, S.R.O., Pereira, G.R., Dias, E.A., Rocha, M.K., Carvalho, H.R., Koetz, C., Oberst, E.R., Barcellos, J.O.J., 2018. Infrared thermography as a noninvasive method to assess scrotal insulation on sperm production in beef bulls. *Andrologia* 50, e12904. <https://doi.org/10.1111/and.12904>
- Montanholi, Y.R., Odongo, N.E., Swanson, K.C., Schenkel, F.S., McBride, B.W., Miller, S.P., 2008. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *J. Therm. Biol.* 33, 468-475. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2008.09.001>
- Mosher, M.D., Ottobre, J.S., Haibel, G.K., Zartman, D.L., 1990. Estrual rise in body temperature in the bovine II. The temporal relationship with ovulation. *Anim. Reprod. Sci.* 23, 99-107. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(90\)90052-H](https://doi.org/10.1016/0378-4320(90)90052-H)
- Mota-Rojas, D., De Rosa, G., Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., Napolitano, F., Mota-Rojas, D., 2019a. Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>
- Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Sarubbi, J., Braghieri, A., Martínez-Burnes, J., Bertoni, A., Ghezzi, D. et al. 2019b. Capítulo 16. Respuestas térmicas en el búfalo de agua: modulación hipotalámica y termografía infrarroja” en Guerrero-Legarreta, I. et al. (Eds.). *El búfalo de agua en las Américas, enfoques prácticos y experimentales* (p. 512-538), Segunda edición. México, BM Editores. <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., Titto, C.G., Orihuela, A., Martínez-Burnes, J., Gómez-Prado, J., Torres-Bernal, F., Flores-Padilla, K., Carvajal-de la Fuente, V., Wang, D. 2021a. Physiological and behavioral mechanisms of thermoregulation in mammals. *Animals.* 11, 1733. <https://doi.org/10.3390/ani11061733>
- Mota-Rojas, D., Pereira, A.M.F., Wang, D., Martínez-Burnes, J., Ghezzi, M., Hernández-Avalos, I., Lendez, P., Mora-Medina, P., Casas, A., Olmos-Hernández, A., et al. 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., de Mira Geraldo, A., Martínez-Burnes, J., Gómez, J., Hernández-Ávalos, I., Casas, A.; Domínguez, A., José, N.; Bertoni, A., et al. 2021c. 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, Napolitano F, Braghieri A, Guerrero-Legarreta I, Bertoni A, Martínez-Burnes J, et al. 2021d. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 9,1–12. <http://dx.doi.org/10.31893/jabb.21003>
- Mota-Rojas, D., Wang, D., Titto, CG., Martínez-Burnes, J., Villanueva-García, D., Lezama, K., Domínguez, A., Hernández-Avalos, I., Mora-Medina, P., Verduzco, A., Olmos-Hernández, A., Casas, A., Rodríguez, D., José, N., Rios, J. Pelagalli, A. 2022a. Neonatal infrared thermography images in the hypothermic ruminant model: Anatomical-morphological-physiological aspects and mechanisms for thermoregulation. *Front. Vet. Sci.* 9,963205. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.963205>
- 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., et al. 2022b. Dairy Buffalo Behavior: Calving, Imprinting, and Allosuckling. *Animals.* 12, 2899. <https://doi.org/10.3390/ani12212899>
- Napolitano, F., Arney, D., Mota-Rojas, D., De Rosa, G., 2019. Reproductive technologies and animal welfare, in: *Reproductive Technologies in Animals.* Elsevier, pp. 275–286. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817107-3.00017-5>
- Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta I., Orihuela, O. 2020b. En: *El búfalo de Agua en Latinoamérica. Hallazgos recientes.* Ciudad de México, México: Tercera edición. BM Editores (2020b). 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., Braghieri, A., Bragaglio, A., Rodríguez-González, D., Mora-Medina, P., Ghezzi, M.D., Álvarez-Macías, A., Lendez, P.A., Sabia, E., Domínguez-Oliva, A., et al. 2022. Neurophysiology of milk ejection and prestimulation in dairy buffaloes. *Animals*. 12, 2649. <https://doi.org/10.3390/ani12192649>
- 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. 2023. The effect of birth weight and time of day on the thermal response of newborn water buffalo calves. *Front. Vet. Sci.* 10,1084092. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1084092>
- Paim, T.P., Borges, B.O., Lima, P.M.T., Gomes, E.F., Dallago, B.S.L., Fadel, R., Menezes, A.M., Louvandini, H., Canozzi, M.E.A., Barcellos, J.O.J., McManus, C., 2013. Thermographic evaluation of climatic conditions on lambs from different genetic groups. *Int. J. Biometeorol.* 57, 59-66.
- Peng, D., Chen, S., Li, G., Chen, J., Wang, J., Gu, X., 2019. Infrared thermography measured body surface temperature and its relationship with rectal temperature in dairy cows under different temperature-humidity indexes. *Int. J. Biometeorol.* 63, 327–336. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-01666-x>
- Pérez-Pedraza, E., Mota-Rojas, D., González-Lozano, M., Guerrero-Legarreta, I., Martínez-Burnes, J., Mora-Medina, P., Cruz-Monterrosa, R., Ramírez-Necoechea, R., 2018. Infrared thermography and metabolic changes in castrated piglets due to the effects of age and the number of incisions in the testicles. *Am. J. Anim. Vet. Sci.* 13, 104–114. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2018.104.114>
- Prosser, C.G., Davis, S.R., Farr, V.C., Lacasse, P., 1996. Regulation of Blood Flow in the Mammary Microvasculature. *J. Dairy Sci.* 79, 1184–1197. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76472-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76472-X)
- Purohit, R., Hudson, R., Riddell, M., Carson, R., Wolfe, D., Walker, D., 1985. Thermography of the bovine scrotum. *Am J Vet Res.* 46, 2388–2392.
- Redden, K.D., Kennedy, A.D., Ingalls, J.R., Gilson, T.L., 1993. Detection of Estrus by Radiotelemetric Monitoring of Vaginal and Ear Skin Temperature and Pedometer Measurements of Activity. *J. Dairy Sci.* 76, 713–721. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77394-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77394-4)
- Rodríguez-González, D., Minervino, A.H.H., Orihuela, A., Bertoni, A., Morales-Canela, D.A., Álvarez-Macías, A., José-Pérez, N., Domínguez-Oliva, A., Mota-Rojas, D., 2022. Handling and physiological aspects of the dual-purpose water buffalo production system in the Mexican humid tropics. *Animals*. 12, 608. <https://doi.org/10.3390/ani12050608>
- Rodríguez-González, D., Guerrero Legarreta, I., Cruz-Monterrosa, R.G., Napolitano, F., Titto, C.G., Abd El-Aziz, A.H., Hernández-Avalos, I., Casas-Alvarado, A., Domínguez-Oliva, A., Mota-Rojas, D. 2023. Assessment of thermal changes in water buffalo mobilized from the paddock and transported by short journeys. *Front. Vet. Sci.* 10,1184577. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1184577>
- Romanovsky, A.A., Ivanov, A.I., Shimansky, Y.P., 2002. Selected Contribution: Ambient temperature for experiments in rats: a new method for determining the zone of thermal neutrality. *J. Appl. Physiol.* 92, 2667–2679. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01173.2001>
- Santos, A.X., Kahwage, P.R., Faturi, C., Quinzeiro Neto, T., Lourenço Junior, J.B., Joele, M.R.S.P., Garcia, A.R., 2014. Feed supplementation with palm kernel cake-based concentrate increases the quality of water buffalo semen. *Anim. Reprod.* 11, 85–95.
- Scolari, S.C., Clark, S.G., Knox, R. V., Tamassia, M.A., 2011. Vulvar skin temperature changes significantly during estrus in swine as determined by digital infrared thermography. *J. Swine Heal. Prod.* 19, 151–155.
- Selvam, R.M., Archunan, G., 2017. A combinatorial model for effective estrus detection in Murrah buffalo. *Vet. World* 10, 209–213. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.209-213>
- Sevegnani, K.B., Fernandes, D.P.B., Silva, S.H.M.-G. da, 2016. Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. *Eng. Agrícola* 36, 1–12.

- <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p1-12/2016>
- Singh, J., Nanda, A.S., Adams, G.P., 2000. The reproductive pattern and efficiency of female buffaloes. *Anim. Reprod. Sci.* 60–61, 593–604. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00109-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00109-3)
- Stewart, M., Webster, J.R., Stafford, K.J., Schaefer, A.L., Verkerk, G.A., 2010. Technical note: Effects of an epinephrine infusion on eye temperature and heart rate variability in bull calves. *J. Dairy Sci.* 93, 5252–5257. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3448>
- Sykes, D.J., Couvillion, J.S., Cromiak, A., Bowers, S., Schenck, E., Crenshaw, M., Ryan, P.L., 2012. The use of digital infrared thermal imaging to detect estrus in gilts. *Theriogenology* 78, 147–152. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.01.030>
- Talukder, S., Kerrisk, K.L., Ingenhoff, L., Thomson, P.C., Garcia, S.C., Celi, P., 2014. Infrared technology for estrus detection and as a predictor of time of ovulation in dairy cows in a pasture-based system. *Theriogenology* 81, 925–935. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.01.009>
- Tattersall, G.J., 2016. Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. *Comp. Biochem. Physiol. Part A Mol. Integr. Physiol.* 202, 78–98. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2016.02.022>
- Tattersall, G.J., Cadena, V., 2010. Insights into animal temperature adaptations revealed through thermal imaging. *Imaging Sci. J.* 58, 261–268. <https://doi.org/10.1179/136821910X12695060594165>
- Tortora, D., Derrickson, B., 2013. Principios de anatomía y fisiología, in: *Principios de Anatomía y Fisiología*. Editorial panamericana, España, pp. 1048–1051.
- Travain, T., Colombo, E.S., Heinzl, E., Bellucci, D., Prato Previde, E., Valsecchi, P., 2015. Hot dogs: Thermography in the assessment of stress in dogs (*Canis familiaris*)—A pilot study. *J. Vet. Behav.* 10, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2014.11.003>
- Verma, K.K., Prasad, S., Mohanty, T.K., Kumaresan, A., Layek, S.S., Patbandha, T.K., Kantwa, S.C., 2014. Behavioural signs of estrus in different parity of murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*): a comparative study. *Indian J. Anim. Res.* 48, 620. <https://doi.org/10.5958/0976-0555.2014.00043.0>
- Yadav, S.K., Singh, P., Kumar, P., Singh, S.V., Singh, A., Kumar, S., 2019. Scrotal infrared thermography and testicular biometry: Indicator of semen quality in Murrah buffalo bulls. *Anim. Reprod. Sci.* 209, 106145. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106145>