



Reseña

Impacto del estrés calórico en la tríada clínica y el perfil hemático de los búfalos de agua: una revisión. IV. Respuestas fisiológicas

Impact of heat stress on the clinical triad and hematological profile of water buffaloes: a review. IV. Physiological responses

Héctor Pérez Esteban *, Alina Mitat Valdés **, Adela Labrada Velázquez *

*Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Cuba.

**Centro de Investigación para el Mejoramiento Animal de la Ganadería Tropical, Cuba.

Correspondencia: perezestebanhector51@gmail.com

Recibido: Julio, 2026; Aceptado: Julio, 2026; Publicado: Agosto, 2026.

RESUMEN

Antecedentes: El estrés calórico compromete la capacidad de adaptación, el bienestar y la productividad de los búfalos de agua. Su susceptibilidad se relaciona con particularidades anatómicas y fisiológicas que limitan la disipación de calor, lo cual es especialmente relevante en sistemas tropicales. En Cuba se registraron valores del índice temperatura-humedad (ITH) entre 75 y 89, superiores a los intervalos de confort descritos para la especie. **Objetivo.** Analizar las respuestas fisiológicas y hematológicas de los búfalos ante el estrés calórico, evaluar los principales indicadores utilizados para su identificación y examinar las estrategias de mitigación con mayor respaldo experimental. **Desarrollo:** Los límites de ITH variaron entre estudios: se propusieron 68–72 para estrés leve, 73–76 para estrés moderado y ≥ 77 para estrés severo, mientras que otra clasificación delimitó ausencia de estrés entre 56,71–73,21, estrés moderado entre 73,22–75,39; severo entre 75,40–80,27 y crítico a partir de 80,27. La frecuencia respiratoria constituyó uno de los indicadores más sensibles: la exposición solar directa elevó sus valores a 35,63 vs. 25,64 resp/min en animales con sombra. Los sistemas de aspersión y ventilación redujeron la frecuencia respiratoria a 22,83 vs. 30,83 resp/min y la frecuencia cardíaca a 38,36 vs. 60,19 latidos/min. En búfalas Murrah, la estación cálida incrementó los neutrófilos a 42,5 % vs. 35,8 % y redujo los linfocitos a 52,3 % vs. 59,6 %, con aumento de la relación neutrófilos/linfocitos. **Conclusiones:** La interpretación conjunta del ITH, la frecuencia respiratoria, la frecuencia cardíaca, la temperatura rectal y los indicadores hematológicos permitió valorar con mayor precisión la respuesta al calor. La sombra, el enfriamiento activo, el acceso al agua y el ajuste del manejo redujeron la carga fisiológica asociada al estrés calórico.

Palabras clave: Palabras clave: Búfalos de agua; estrés calórico; indicadores fisiológicos (*Fuente: MeSH*)

Como citar (APA) Pérez Esteban, H., Mitat Valdés, A., & Labrada Velázquez, A. (2026). Impacto del estrés calórico en la tríada clínica y el perfil hemático de los búfalos de agua: una revisión. IV. Respuestas fisiológicas. *Revista de Producción Animal*, 38. <https://rpa.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e341>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

ABSTRACT

Background: Heat stress compromises the adaptive capacity, welfare, and productivity of water buffaloes. Their susceptibility is associated with anatomical and physiological characteristics that limit heat dissipation, which is particularly relevant in tropical systems. In Cuba, temperature-humidity index (THI) values ranging from 75 to 89 have been recorded, exceeding the comfort ranges described for the species. **Objective.** To analyze the physiological and hematological responses of buffaloes to heat stress, evaluate the main indicators used for its identification, and examine the mitigation strategies with the strongest experimental support. **Development:** THI thresholds varied among studies: values of 68–72 were proposed for mild stress, 73–76 for moderate stress, and ≥ 77 for severe stress, whereas another classification defined absence of heat stress at 56,71–73,21, moderate stress at 73,22–75,39; severe stress at 75.40–80.27, and critical stress at $\geq 80,27$. Respiratory rate was one of the most sensitive indicators: direct solar exposure increased values to 35,63 vs. 25,64 breaths/min in shaded animals. Sprinkler and ventilation systems reduced respiratory rate to 22,83 vs. 30,83 breaths/min and heart rate to 38,36 vs. 60,19 beats/min. In Murrah buffaloes, the hot season increased neutrophils to 42.5% vs. 35.8% and reduced lymphocytes to 52,3% vs. 59,6%, with an increase in the neutrophil-to-lymphocyte ratio. **Conclusions:** The joint interpretation of THI, respiratory rate, heart rate, rectal temperature, and hematological indicators allowed a more accurate assessment of the response to heat. Shade, active cooling, access to water, and management adjustments reduced the physiological load associated with heat stress.

Keywords: Heat stress; physiological indicators; water buffaloes (*Source: MeSH*)

INTRODUCCIÓN

El estrés calórico (EC) constituye uno de los principales desafíos ambientales para el bienestar y la productividad de los animales de granja. En los búfalos de agua, la pigmentación oscura de la piel, la escasa cobertura pilosa y la menor densidad de glándulas sudoríparas, en comparación con los bovinos, limitan la disipación de calor. La especie compensa esta desventaja mediante ajustes fisiológicos y conductuales, como el aumento de la frecuencia respiratoria (FR), los cambios circulatorios, el acceso al agua y la búsqueda de sombra. Sin embargo, cuando la exposición al calor persiste, aumenta el costo fisiológico de la termorregulación (Petrocchi Jasinski *et al.*, 2023; Mitat Valdés *et al.*, 2024).

En Cuba, el riesgo de EC adquiere especial importancia debido a las características climáticas y a las condiciones de algunos sistemas ganaderos. En unidades bovinas ubicadas en ambientes próximos a la crianza bubalina se registraron valores del índice temperatura-humedad (ITH) entre 75 y 89 (Nápoles *et al.*, 2022; González Prieto *et al.*, 2024; Guerra Rojas *et al.*, 2024). Además, en 2023 Cuba registró la segunda temperatura media anual más alta desde 1951, con una anomalía de +1,31 °C respecto a la media de 1961-1990 (Fonseca Rivera *et al.*, 2024). A esta carga climática se añadieron, en determinados sistemas, limitaciones en la disponibilidad de sombra, agua y áreas de baño, recursos que favorecen la disipación de calor (Labrada Velázquez *et al.*, 2025). Cabe señalar que los valores de ITH disponibles para Cuba no se establecieron específicamente en poblaciones bubalinas ni se diferenciaron por categorías productivas y grupos etarios.

En este contexto, la presente revisión tuvo como objetivos: analizar las respuestas fisiológicas y hematológicas asociadas al EC en los búfalos de agua, comparar los límites de ITH propuestos para identificar distintos grados de carga calórica, examinar los cambios en la FR, la frecuencia cardíaca (FC) y la temperatura rectal (TR), valorar indicadores endocrinos, metabólicos y hematológicos, y evaluar estrategias de mitigación con respaldo experimental, con énfasis en las prioridades de los sistemas de producción bubalina tropicales cubanos.

DESARROLLO

Índice temperatura-humedad como indicador ambiental del riesgo de estrés calórico

El ITH se ha utilizado ampliamente para estimar el riesgo de EC, porque integra la temperatura del aire y la humedad relativa, variables de fácil registro. Sin embargo, no representa por sí solo la carga de calor recibida por el animal, pues no incluye directamente la radiación solar, la velocidad del viento y la duración de la exposición ni la recuperación nocturna. Esta limitación adquiere especial importancia en sistemas tropicales, donde valores similares de ITH pueden acompañarse de distintas medidas de mitigación, como la ventilación, la radiación y el acceso al enfriamiento (Petrocchi Jasinski *et al.*, 2023).

Los límites propuestos para los búfalos variaron entre estudios. Umar *et al.* (2021) establecieron valores de 68–72 para EC leve, 73–76 para EC moderado y ≥ 77 para EC severo, a partir de cambios fisiológicos observados en búfalos de río en una región subtropical de la India. Sharma *et al.* (2023) identificaron 74,37 como valor óptimo de referencia en la población evaluada. Ismail *et al.* (2026) propusieron cuatro categorías: sin EC (56,71–73,21), moderado (73,22–75,39), severo (75,40–80,27) y crítico ($\geq 80,27$). Estas diferencias no constituyen contradicciones, sino evidencia de que el límite biológico depende de la población, la edad, el estado fisiológico, el sistema de alojamiento, la duración de la exposición y los indicadores que se emplearon para definir la respuesta.

Ismail *et al.* (2026) demostraron, además, que la modificación del ambiente altera la exposición: durante 47 días, el sistema tradicional alcanzó un ITH medio de $79,30 \pm 0,47$ y acumuló 29 días críticos; mientras que el sistema adaptativo redujo el ITH a $72,02 \pm 0,42$ y eliminó la categoría crítica. El estudio incluyó 12 búfalas primíparas en lactación tardía en un rebaño, por lo que sus límites requieren validación antes de extrapolarse a otras categorías y sistemas.

La comparación entre estudios mostró que el ITH constituye una herramienta útil para clasificar el riesgo ambiental, pero sus límites varían según la población, el estado fisiológico, las condiciones de alojamiento y los indicadores utilizados para definir el EC (Umar *et al.*, 2021; Sharma *et al.*, 2023; Ismail *et al.*, 2026). Por ello, su interpretación requiere asociarlo con respuestas fisiológicas, particularmente FR, FC y TR (Petrocchi Jasinski *et al.*, 2023; Ismail *et al.*, 2026).

Tabla 1. Límites del índice temperatura-humedad utilizados para caracterizar el estrés calórico en búfalos de agua.

Referencia	Población o condición	ITH	Interpretación
Umar <i>et al.</i> (2021)	Búfalos de río; región subtropical de India	68–72	EC leve
		73–76	Moderado
		≥ 77	Severo
Sharma <i>et al.</i> (2023)	Búfalos de río; ambiente subtropical	74,37	Valor óptimo estimado para la población evaluada
Ismail <i>et al.</i> (2026)	12 búfalas lecheras primíparas; 47 días	56,71–73,21	Sin EC
		73,22–75,39	Moderado
		75,40–80,27	Severo
		$\geq 80,27$	Crítico
Cuba, 2022–2024	Unidades bovinas próximas a sistemas bubalinos	75–89	Riesgo ambiental; no constituye umbral bubalino validado

Nota. Los límites dependieron de la población, las condiciones ambientales, el estado fisiológico y los criterios empleados para definir la respuesta. Los valores en Cuba describieron el ambiente de unidades bovinas y no se interpretaron como límites validados para búfalos.

Respuesta fisiológica de la tríada clínica ante el estrés calórico

La FR constituye una de las primeras respuestas detectables al aumento de la carga calórica, porque la mayor ventilación favoreció la evaporación respiratoria. Omran y Foda (2023) registraron 35,63 respiraciones/min bajo radiación solar directa vs. 25,64 con sombra. Ismail *et al.* (2026) observaron $27,96 \pm 0,16$ vs. $23,73 \pm 0,07$ respiraciones/min en sistemas naturales y adaptativos, respectivamente ($p < 0,05$), y reportaron una correlación positiva entre la FR y el ITH ($r = 0,81$; $p < 0,05$) en el grupo sin adaptación. La magnitud de la respuesta depende de la edad, la actividad, la humedad y el acceso al enfriamiento.

La FC mostró una respuesta menos uniforme y no debe interpretarse de forma aislada. Bhuradia *et al.* (2023) encontraron que la aspersión con ventilación redujo la FC a 38,36 latidos/min vs. 60,19 y la FR a 22,83 vs. 30,83 respiraciones/min ($p < 0,05$), lo que evidenció una menor demanda termorreguladora.

La TR aumenta cuando los mecanismos de disipación no logran compensar la ganancia de calor. De Matteis *et al.* (2024) informaron valores de 39,9 °C con ITH 79,27 vs. 39,1 °C con ITH 63,42. En contraste, Yadav *et al.* (2022) observaron un aumento de la FR con ITH > 80 mientras la TR permaneció alrededor de 38,3 °C. Una FR elevada con TR estable indicó compensación activa; el aumento simultáneo de ambas variables señaló una carga más próxima a superar la capacidad de disipación. La tabla 2 resume los resultados representativos.

Tabla 2. Magnitud de los cambios fisiológicos, asociados a la carga calórica y su mitigación en búfalos.

Estudio/condición	ITH o ambiente	Cambio fisiológico	Interpretación
Omran y Foda (2023)	Radiación directa vs. sombra	FR: 35,63 vs. 25,64 resp/min	La radiación elevó la demanda evaporativa
Bhuradia <i>et al.</i> (2023)	Control vs. aspersión + ventilación	FR: 30,83 vs. 22,83 resp/min; FC: 60,19 vs. 38,36 lat/min	El enfriamiento redujo la carga fisiológica
De Matteis <i>et al.</i> (2024)	ITH 79,27 vs. 63,42	TR: 39,9 vs. 39,1 °C	La TR aumentó en la estación cálida
Ismail <i>et al.</i> (2026)	Sistema natural vs. adaptativo	TR: 38,93 ± 0,01 vs. 37,91 ± 0,04 °C; FR: 27,96 ± 0,16 vs. 23,73 ± 0,07 resp/min	La adaptación ambiental redujo FR y TR; p < 0,05

Nota. FR: frecuencia respiratoria; FC: frecuencia cardíaca; TR: temperatura rectal; ITH: índice temperatura-humedad. Las comparaciones procedieron de diferentes diseños y no constituyeron valores de referencia universales.

Jadeo y equilibrio ácido-base

El jadeo representa una intensificación de la respuesta respiratoria cuando la FR basal deja de ser suficiente para mantener la termorregulación. La humedad elevada reduce la eficacia de la evaporación y aumenta el trabajo ventilatorio (Petrocchi Jasinski *et al.*, 2023; Hassan *et al.*, 2025). La hiperventilación intensa puede aumentar la eliminación de CO₂ y desplazar el equilibrio ácido-base hacia alcalosis respiratoria. La evidencia directa en búfalos sometidos específicamente a EC es limitada; Nangia *et al.* (1980), en búfalos sometidos a ejercicio, demostraron aumento del pH sanguíneo y disminución de la presión de CO₂, compatible con alcalosis. Por ello, el jadeo indica una carga severa, pero la alcalosis requirió mediciones de pH, pCO₂ y bicarbonato para su confirmación.

Respuestas endocrinas

La adaptación endocrina integra la respuesta al estrés y el ajuste metabólico. En búfalas Murrah lactantes sometidas a ITH de 73-90, Yadav *et al.* (2016) observaron, en julio, concentraciones de cortisol de 4,96 ng/mL sin enfriamiento frente a 2,94 ng/mL con nebulización; la prolactina alcanzó 150,4 frente a 77,29 ng/mL, respectivamente (p < 0,05). Estos cambios reflejan la activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal y ajustes asociados con la disipación de calor.

Las hormonas tiroideas mostraron una respuesta menos uniforme. La reducción de T₃ y T₄ puede disminuir el metabolismo basal y la producción endógena de calor; sin embargo, Yadav *et al.* (2016) no encontraron cambios significativos de T₃ ni una interacción periodo × tratamiento significativa para T₄. Por ello, el cortisol y la prolactina resultaron biomarcadores más consistentes en ese diseño, mientras la interpretación de las hormonas tiroideas requirió considerar la edad, el estado de lactación, la duración del EC, la época del año y el manejo.

Consumo de materia seca, función ruminal y producción de leche

La reducción del consumo de materia seca (CMS) disminuye (o limita) la termogénesis asociada con la ingestión y la fermentación, aunque también restringe el aporte energético. Dicha respuesta

no fue uniforme entre los estudios y dependió de la intensidad del EC, la aclimatación y el enfriamiento (Wankar *et al.*, 2021; Petrocchi Jasinski *et al.*, 2023). En condiciones cálidas y húmedas, Ahmad *et al.* (2017) demostraron que la combinación de sombra, ventilación y aspersión aumentó el CMS y la producción de leche respecto a la sombra sola (Tabla 3).

La carga calórica también modificó la comunidad bacteriana y el metaboloma ruminal, con cambios compatibles con alteraciones de la fermentación y del aprovechamiento energético (Wang *et al.*, 2022). La pérdida productiva no dependió exclusivamente del CMS, los cambios endocrinos, circulatorios y redox también afectaron el metabolismo sistémico.

Ismail *et al.* (2026) cuantificaron una relación estrecha entre el ambiente y la producción: $22,94 \pm 0,47$ kg/d de leche en el sistema natural frente a $35,15 \pm 0,61$ kg/d en el adaptativo ($p < 0,05$). En el primero, el ITH se correlacionó negativamente con la producción diaria ($r = -0,92$). La tabla 3 integra estos resultados sin asumir una respuesta única para el CMS.

Tabla 3. Relación entre carga calórica, consumo de materia seca y producción de leche en búfalos.

Estudio	Condición térmica/manejo	CMS	Producción de leche
Ahmad <i>et al.</i> (2017)	Verano cálido-húmedo: sombra	$13,24 \pm 0,45$	$5,66 \pm 0,23$
	sombra+ventilador	$14,56 \pm 0,22$	$7,27 \pm 0,20$
	sombra+ventilador+aspersión	$14,73 \pm 0,35$ kg/d	$10,45 \pm 0,79$ kg/d; $p < 0,05$
Wankar <i>et al.</i> (2021)	Exposición simulada a 25, 30, 35 y 40 °C	Sin variación significativa del CMS entre tratamientos	No evaluada
Ismail <i>et al.</i> (2026)	ITH natural $79,30 \pm 0,47$ vs. adaptativo $72,02 \pm 0,42$	No se cuantificó directamente; se informó menor apetito bajo EC	$22,94 \pm 0,47$ vs. $35,15 \pm 0,61$ kg/d; $p < 0,05$; r ITH-leche = $-0,92$ en sistema natural

Nota. CMS: consumo de materia seca; ITH: índice temperatura-humedad; S: sombra; SV: sombra + ventilador; SVA: sombra + ventilador + aspersión. Los diseños no permitieron establecer una reducción universal del CMS por unidad de ITH.

Respuestas hematológicas e inmunitarias

El perfil hemático reflejó modificaciones asociadas con la estación y el estado fisiológico. Vasantha *et al.* (2024) evaluaron búfalas Murrah periparturientas durante el verano e invierno y registraron un ITH significativamente mayor en verano. En esa estación aumentaron el recuento eritrocitario, la hemoglobina, la MCH y la MCHC, mientras que el MCV fue mayor en invierno ($p < 0,05$); el recuento leucocitario total y los monocitos no mostraron diferencias entre estaciones. Además, la hemoglobina, la SOD, el GSH y el MDA variaron significativamente durante el periodo de transición ($p < 0,05$). Estos resultados indicaron que la interpretación del perfil hemático requirió considerar conjuntamente la carga ambiental y el estado fisiológico de los animales.

El perfil hemático reflejó ajustes del volumen plasmático, el transporte de oxígeno y la distribución leucocitaria. Vasantha *et al.* (2024) encontraron en búfalas Murrah periparturientas mayores recuento eritrocitario, hemoglobina, MCH y MCHC durante el verano, mientras el MCV fue mayor

en invierno ($p < 0,05$); el recuento leucocitario total y los monocitos no cambiaron significativamente. La heterogeneidad indicó que los cambios eritrocitarios dependieron del estado hídrico, fisiológico y de la duración de la exposición.

La relación neutrófilos/linfocitos (N/L) ofreció una señal complementaria de activación del estrés. Saini *et al.* (2022) registraron 42,5 % de neutrófilos en la estación cálida-húmeda vs. 35,8 % en invierno y 52,3 % de linfocitos vs. 59,6 %, respectivamente. La neutrofilia y la linfopenia elevaron la relación N/L, un patrón compatible con la acción de los glucocorticoides, aunque no específico del EC (Petrocchi Jasinski *et al.*, 2023).

La interpretación mejoró al incorporar biomarcadores redox. Vasantha *et al.* (2024) observaron mayor SOD y MDA en verano y mayor GSH en invierno ($p < 0,05$). Ismail *et al.* (2026) encontraron niveles de MDA de 12,4 vs. 8,4 mM/mL y de catalasa de 1,84 vs. 1,08 mM/mL en la leche del sistema natural vs. adaptativo ($p < 0,05$). El aumento simultáneo de productos de oxidación y defensas antioxidantes indicó una respuesta compensatoria, no una mejora del estado redox (Tabla 4).

Tabla 4. Cambios hematológicos y biomarcadores asociados con diferente carga calórica en búfalos.

Indicador	Condición de mayor carga calórica	Condición de menor carga calórica	Interpretación/estudio
Neutrófilos	42,5 %	35,8 %	Aumento en la estación cálida-húmeda (Saini <i>et al.</i> , 2022)
Linfocitos	52,3 %	59,6 %	Disminución en la estación cálida-húmeda (Saini <i>et al.</i> , 2022)
Relación N/L	Aumentó	Menor	Marcador complementario de redistribución leucocitaria (Saini <i>et al.</i> , 2022)
TEC, Hb, MCH, MCHC	Mayores en verano	Menores en invierno	Diferencias significativas (Vasantha <i>et al.</i> , 2024)
MDA en leche	12,4 mM/mL	8,4 mM/mL	Exposición natural vs. manejo adaptativo (Ismail <i>et al.</i> , 2026)
Catalasa en leche	1,84 mM/mL	1,08 mM/mL	Respuesta antioxidante compensatoria; (Ismail <i>et al.</i> , 2026)

Nota. N/L: neutrófilos/linfocitos; TEC: conteo total de eritrocitos; Hb: hemoglobina; MCH: hemoglobina corpuscular media; MCHC: concentración de hemoglobina corpuscular media; MCV: volumen corpuscular medio; GSH: glutatión reducido; MDA: malondialdehído; SOD: superóxido dismutasa. No constituyeron intervalos clínicos de referencia.

Mecanismos celulares y moleculares de adaptación

La respuesta celular al EC incluyó la expresión de proteínas de choque térmico, cambios en el estado redox y ajustes de las rutas energéticas. Las HSP actuaron como chaperonas para estabilizar proteínas; su incremento indicó activación de la respuesta al calor, pero no equivalió por sí solo a una mayor tolerancia (Petrocchi Jasinski *et al.*, 2023; Hassan *et al.*, 2025).

El estrés oxidativo se manifestó cuando la producción de especies reactivas de oxígeno superó la capacidad de neutralización, lo que elevó los indicadores de peroxidación lipídica, como MDA, y

activó las defensas antioxidantes como SOD, catalasa y GSH (De Matteis *et al.*, 2024; Ismail *et al.*, 2026). Ismail *et al.* (2026) detectaron, además, una mayor expresión de *AMPK*, *HRH1* y *mTOR* bajo exposición natural al calor. Estos marcadores son prometedores, pero aún carecen de puntos de corte validados por raza, edad y estado productivo.

Efectos reproductivos asociados con la carga calórica

En las hembras, el EC se asoció con alteraciones endocrinas, ováricas y uterinas, menor expresión estral y reducción de la eficiencia reproductiva durante los periodos cálidos (Abulaiti *et al.*, 2022; Hassan *et al.*, 2025). La magnitud varió entre poblaciones; por ello, el ITH debe correlacionarse con la ovulación, los niveles de progesterona, la tasa de gestación y las pérdidas embrionarias antes de atribuir la disminución de fertilidad exclusivamente al calor.

En los machos, el EC elevó la temperatura escrotal y el estrés oxidativo, y se asoció con menor calidad seminal. Vasisth *et al.* (2026) distinguieron sementales Murrah estacionalmente afectados y no afectados y detectaron diferencias fisiológicas, antioxidantes y de expresión génica, lo que evidenció una variación individual en la susceptibilidad.

La mitigación reproductiva comienza con la reducción de la carga de calor. La sombra, el enfriamiento, la disponibilidad de agua y el ajuste alimentario protegen el ambiente sistémico de los gametos; la sincronización y la programación de servicios en periodos frescos facilitan el manejo, pero no corrigen lesiones térmicas ya establecidas (Hassan *et al.*, 2025).

Integración de respuestas y estrategias de mitigación

La evidencia revisada indica una secuencia integrada: la carga ambiental activa primero mecanismos respiratorios y circulatorios; cuando la compensación resulta insuficiente, aumentan la TR y se intensifican los cambios endocrinos, hematológicos, redox, metabólicos y reproductivos. La edad, la lactación, la adaptación previa, la genética, la disponibilidad de agua, la sombra y la duración del EC modifican esta secuencia (Figura 1).

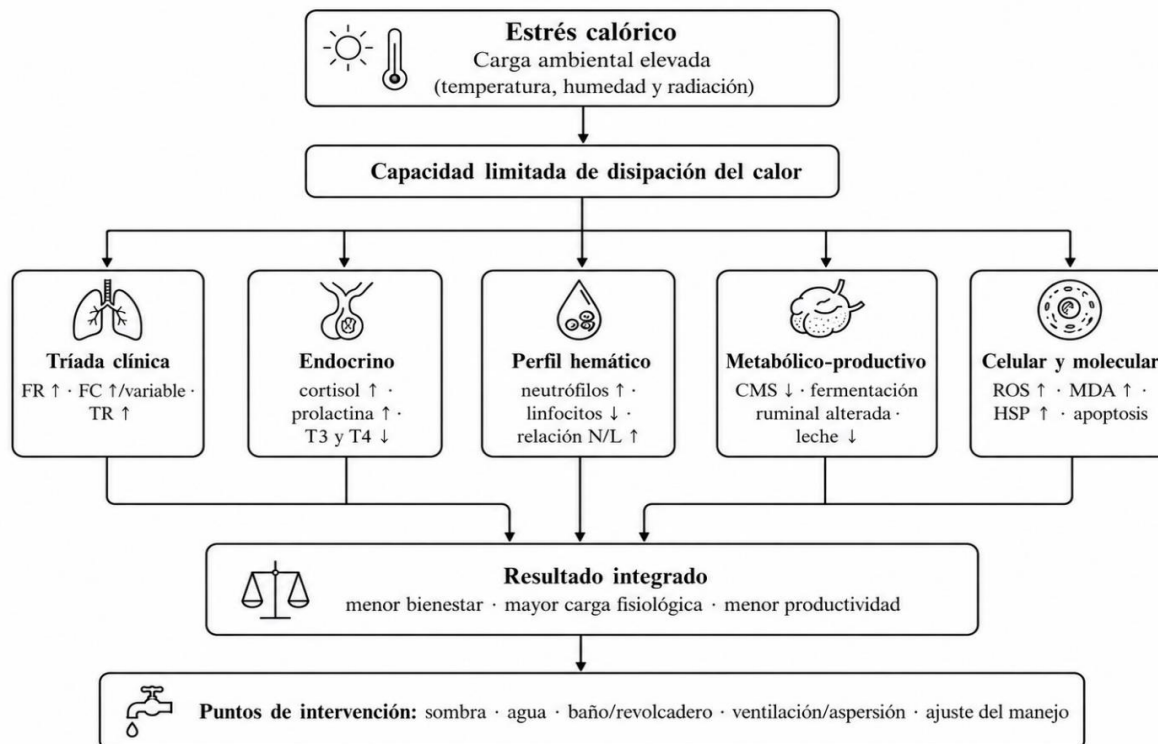


Figura 1. Secuencia integrada de respuestas fisiológicas, hematológicas, endocrinas y metabólicas asociadas con el estrés calórico y principales puntos de mitigación. Fuente: elaboración propia a partir de Napolitano *et al.* (2023), Petrocchi Jasinski *et al.* (2023), De Matteis *et al.* (2024), Hassan *et al.* (2025) e Ismail *et al.* (2026).

Las intervenciones ambientales mostraron los efectos más consistentes. La nebulización o inmersión redujo FR y TR y limitó el aumento de cortisol y prolactina (Yadav *et al.*, 2016), mientras la aspersión con ventilación redujo la FR y la FC (Bhuradia *et al.*, 2023). Ismail *et al.* (2026) demostraron que un manejo adaptativo redujo el ITH medio de 79,30 a 72,02 y aumentó la producción diaria de leche en 53,29 %. El beneficio dependió del clima, de la disponibilidad de agua y del diseño y mantenimiento de las instalaciones.

Las estrategias nutricionales complementaron el control ambiental. La alimentación en las horas más frescas, el mantenimiento del balance hídrico-electrolítico y una dieta que sostenga el aporte energético ayudan a reducir el costo del EC, pero no sustituyen a la sombra, el agua y el enfriamiento (Wang *et al.*, 2022; Hassan *et al.*, 2025).

Perspectivas futuras

Las prioridades de investigación deben avanzar desde la descripción hacia la validación de decisiones de manejo. En Cuba se requiere: establecer límites de ITH específicos para búfalos por región, época del año, edad y estado productivo; vincularlos con TR, FR, FC, jadeo, consumo, producción, perfil hemático y biomarcadores; evaluar sensores y sistemas de enfriamiento de bajo costo; comparar eficacia, consumo de agua, energía y costo; e incorporar registros de resiliencia en

los programas de selección. Estas acciones permitirían convertir el ITH en una herramienta de alerta y manejo adaptada a los sistemas bubalinos cubanos.

CONCLUSIONES

El EC desencadena una secuencia integrada de respuestas. La FR es el indicador más sensible y suele aumentar antes que la TR; la FC muestra mayor variabilidad, mientras que la elevación sostenida de la TR evidencia una menor capacidad compensatoria. El jadeo refleja una respuesta respiratoria más intensa que puede alterar el equilibrio ácido-base. Por ello, la interpretación simultánea de FR, FC y TR, en relación con el ITH permite una valoración más precisa de la carga calórica.

Los cambios endocrinos, hematológicos, redox y metabólicos amplían la evaluación. El cortisol, la prolactina, la relación N/L y los indicadores oxidativos aportan información complementaria, aunque ninguno constituyó un marcador universal. La sombra, el agua y el enfriamiento activo muestran la evidencia más consistente para reducir la carga fisiológica y deben integrarse con la alimentación y la vigilancia clínica. Para Cuba, la prioridad consiste en validar límites propios de ITH y asociarlos con respuestas fisiológicas, hematológicas y productivas.

REFERENCIAS

- Abulaiti, A., Naseer, Z., Ahmed, Z., Wang, D., Hua, G., & Yang, L. (2022). Effect of different synchronization regimens on reproductive variables of crossbred (swamp × riverine) nulliparous and multiparous buffaloes during peak and low breeding seasons. *Animals*, 12(4), 415. <https://doi.org/10.3390/ani12040415>
- Ahmad, M., Bhatti, J. A., Abdullah, M., Javed, K., Ud Din, R., Ali, M., Rashid, G., Ahmed, N., & Jehan, M. (2017). Effect of different ambient management interventions on milk production and physiological performance of lactating Nili-Ravi buffaloes during hot humid summer. *Livestock Research for Rural Development*, 29(12). <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd29/12/meht29230.html>
- Bhuradia, R. K., Singh, N., Sharma, S., Choudhary, S., Singh, N., Joshi, G., & Kavia, A. (2023). Effect of sprinkler with fan on growth, physiology and behaviour of Murrah buffalo calves. *Indian Journal of Dairy Science*, 76(1), 78-83. <https://doi.org/10.33785/IJDS.2023.v76i01.011>
- De Matteis, G., Flores-Villalva, S., Rossi, E., La Mantia, M. C., Steri, R., Barile, V. L., & Meo Zilio, D. (2024). Effect of the season on blood changes of oxidative stress index in the Italian Mediterranean buffalo (*Bubalis bubalis*). *Veterinary Sciences*, 11(3), 116. <https://doi.org/10.3390/vetsci11030116>

- Fonseca Rivera, C., García Hernández, A., Velázquez Zaldívar, B., Gómez de la Maza Santana, D., Martínez Álvarez, M., González García, I., Cutié Cancino, V., Vázquez Montenegro, R., Pérez Suárez, R., Mitrani Arenal, I., Hidalgo Mayo, A., Cabrales Infante, J., Leyva Pit, L., & González Fraguera, E. (2024). Estado del clima en Cuba 2023. Resumen ampliado. *Revista Cubana de Meteorología*, 30(1), e09. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=701977979009>
- González Prieto, S., Mitat Valdés, A., Suárez Tronco, M. A., & Menéndez-Buxadera, A. (2024). Evaluación global de la productividad de rebaños lecheros y estrés térmico. I. Análisis y primeros resultados. *Revista de Producción Animal*, 36(2). <https://apm.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e149>
- Guerra Rojas, M. D. C., Suárez Tronco, M. A., Rodríguez Castro, M., & Lamothe Crespo, Y. (2024). Caracterización climática de la EPG “Los Naranjos” y su relación con la producción de leche. *Revista de Producción Animal*, 36(1), 1-11. <https://rpa.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e4589>
- Hassan, F.U., Ashraf, N., Arain, M. A., Mushahid, M., Safdar, M., Saif-Ur-Rehman, M., & Behan, A.A. (2025). Heat stress in riverine buffaloes: Regulatory mechanism, physiological changes, production and reproductive performance, and mitigation strategies. *International Journal of Biometeorology*, 69(10), 2567–2587. <https://doi.org/10.1007/s00484-025-02997-2>
- Ismail, E. M., Aly, A. M., Farag, H. S., Kamel, S., & Fahim, K. M. (2026). Heat stress in dairy buffalo: Biometeorological, molecular, and adaptive strategies for climate change resilience in subtropical regions. *Veterinary Research Communications*, 50, 107. <https://doi.org/10.1007/s11259-025-11009-y>
- Labrada Velázquez, A., Pérez Esteban, H., & Mitat Valdés, A. (2025). Estrés calórico en búfalos de agua, una revisión. III. Efectos de los sistemas de producción en Cuba y respuestas conductuales de los animales. *Revista de Producción Animal*, 37, 164–178. <https://apm.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e170>
- Mitat Valdés, A., Labrada Velázquez, A., & Pérez Esteban, H. (2024). Estrés calórico en búfalos de agua, una revisión. I. Efectos del clima en Cuba y particularidades morfológicas de la piel. *Revista de Producción Animal*, 36(2), 21–34. <https://apm.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e157>
- Nangia, O. P., Singh, N., & Sukhija, S. S. (1980). Effect of exercise on thermal and acid-base balance in buffaloes. *Tropical Animal Health and Production*, 12(3), 185–188. <https://doi.org/10.1007/BF02242652>
- Nápoles, F. M., Sanz, M. R. Q., Padrón, J. M., & Valdés, Y. R. (2022). Evaluación y gestión de riesgos por estrés calórico en el ganado bovino lechero de la Empresa Agropecuaria Managuaco. *Agrotecnia de Cuba*, 46(1), 43–54. <https://agrotecnia.edicionescervantes.com/index.php/agrotecnia/article/view/44>

- 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. (2023). The challenge of global warming in water buffalo farming: Physiological and behavioral aspects and strategies to face heat stress. *Animals*, 13(19), 3103. <https://doi.org/10.3390/ani13193103>
- Omran, F. I., & Foda, T. A. (2023). Impact of chronic heat stress on physiological and productive performance of buffalo dams during the dry period under climatic conditions in the Nile Valley. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 101(1), 151-165. <https://doi.org/10.21608/ejar.2023.155364.1265>
- Petrocchi Jasinski, F., Evangelista, C., Basiricò, L., & Bernabucci, U. (2023). Responses of dairy buffalo to heat stress conditions and mitigation strategies: A review. *Animals*, 13(7), 1260. <https://doi.org/10.3390/ani13071260>
- Saini, L. K., Mittal, P. K., Gottam, G. S., Gupta, B., & Bilochi, D. R. (2022). Impact of seasonal variation on physiological and haematological attributes in Murrah buffalo. *The Pharma Innovation Journal*, 11(6S), 1491-1495. <https://www.thepharmajournal.com/special-issue?ArticleId=13238&issue=6S&vol=11&year=2022>
- Sharma, S., Sharma, V., Konwar, D., Khan, A., Kumar, D., & Brahma, B. (2023). A comparative study on effect of heat stress on physiological and cellular responses of crossbred cattle and riverine buffalo in subtropical region of India. *International Journal of Biometeorology*, 67(10), 1619-1628. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02523-2>
- Umar, S. I. U., Konwar, D., Khan, A., Bhat, M. A., Javid, F., Jeelani, R., Nabi, B., Najar, A. A., Kumar, D., & Brahma, B. (2021). Delineation of temperature-humidity index (THI) as indicator of heat stress in riverine buffaloes (*Bubalus bubalis*) of a sub-tropical Indian region. *Cell Stress and Chaperones*, 26(4), 657-669. <https://doi.org/10.1007/s12192-021-01209-1>
- Vasanth, S. K. I., Prasad, C. S., Naik, B. R., Kumar, K. A., Sessaiah, C. V., & Tej, J. N. K. (2024). Changes in hematological and biochemical parameters of periparturient Murrah buffaloes during summer and winter season: A study to assess seasonal and transitional stress. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 43(2), 347-353. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DR-1718>
- Vasisth, R., Sriranga, K. R., Chitkara, M., Gurao, A., Singh, L. P., Dige, M. S., Sodhi, M., Mukesh, M., Kumar, P., Singh, P., & Kataria, R. S. (2026). Serum biochemical and gene expression changes in the spermatozoa of buffalo bulls under heat stress. *Biochemical Genetics*, 64(2), 2020–2047. <https://doi.org/10.1007/s10528-025-11122-2>
- Wang, Z., Niu, K., Rushdi, H. E., Zhang, M., Fu, T., Gao, T., Yang, L., Liu, S., & Lin, F. (2022). Heat stress induces shifts in the rumen bacteria and metabolome of buffalo. *Animals*, 12(10), 1300. <https://doi.org/10.3390/ani12101300>

- Wankar, A. K., Singh, G., & Yadav, B. (2021). Effect of temperature $\times$ THI on acclimatization in buffaloes subjected to simulated heat stress: Physio-metabolic profile, methane emission and nutrient digestibility. *Biological Rhythm Research*, 52(10), 1589-1603. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1673652>
- Yadav, B., Pandey, V., Yadav, S., Singh, Y., Kumar, V., & Sirohi, R. (2016). Effect of misting and wallowing cooling systems on milk yield, blood and physiological variables during heat stress in lactating Murrah buffalo. *Journal of Animal Science and Technology*, 58, 2. <https://doi.org/10.1186/s40781-015-0082-0>
- Yadav, B., Yadav, S., Madan, A. K., Anand, M., Swain, D. K., Pandey, V., & Sirohi, R. (2022). Heat stress responses to increasing temperature humidity index (THI) in lactating Murrah buffalo. *Buffalo Bulletin*, 41(1), 161-170. <https://doi.org/10.56825/bufbu.2022.4112316>

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: HPE, AMV, ALV; análisis e interpretación de los datos: HPE, AMV, ALV; redacción del artículo: HPE, AMV, ALV.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.