

## Olas de calor: respuestas comportamentales y fisiológicas en vacas lecheras con provisión de sombras y refrescado

### *Heat waves: behavioral and physiological responses in dairy cows under shade and cooling provision*

Toffoli, G. D.<sup>1\*</sup>; Leva, P. E.<sup>1</sup>; Mendez, L.<sup>1</sup>; Costamagna, D.<sup>1</sup>; Acetta, P. M.<sup>1</sup>; Strappini, A. C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral (FCA-UNL), R.P Kreder 2805 (3080). Esperanza, Argentina.

<sup>2</sup> Wageningen Livestock Research, Animal Health and Welfare Department, PO Box 338 6700AH Wageningen, the Netherlands.

\* Correspondencia: Guillermo D. Toffoli, FCA-UNL | gtoffoli@fca.unl.edu.ar

Recibido 26/02/2025 – Aceptado 22/09/2025

**Resumen:** El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de las olas de calor sobre el comportamiento y la fisiología de vacas lecheras bajo un sistema con sombra y enfriamiento. Se analizaron dos eventos de ola de calor ocurridos durante el verano de 2023. Se monitorearon el tiempo de alimentación, rumia y la tasa respiratoria mediante collares sensores, y se calculó el índice de temperatura y humedad (ITH) horario. Se compararon los valores durante las olas de calor con los días subsiguientes sin estrés térmico. Además, se analizaron las correlaciones entre el ITH medio diario y las variables fisiológicas. En la primera ola de calor, el tiempo de alimentación disminuyó 36,6 min/d ( $p < 0,001$ ), la rumia 16 min/d ( $p = 0,187$ ) y la tasa respiratoria aumentó 81,9 min/d ( $p < 0,001$ ). En la segunda ola, se observó una reducción de 41,3 min/d en la alimentación ( $p < 0,001$ ), y aumentos de 11,6 min/d en rumia ( $p = 0,083$ ) y 55,1 min/d en tasa respiratoria ( $p < 0,001$ ). El ITH se correlacionó negativamente con el tiempo de alimentación ( $r = -0,592$ ) y rumia ( $r = -0,344$ ), y positivamente con la tasa respiratoria ( $r = 0,835$ ). Estos resultados evidencian efectos fisiológicos y conductuales, incluso con estrategias de mitigación presentes.

**Palabras clave:** índice de temperatura y humedad, monitoreo automatizado, conductas.

**Summary:** The objective of this study was to evaluate the effects of heat waves on the behavioral and physiological responses of dairy cows under a system with shade and cooling. Two heat wave events occurring during the summer of 2023 were analyzed. Feeding time, rumination time, and respiratory rate were monitored using sensor collars, and hourly temperature-humidity index (THI) was calculated. Values during heat waves were compared to those on subsequent days without heat stress. Additionally, correlations between daily mean THI and physiological variables were analyzed. During the first heat wave, feeding time decreased by 36,6 min/day ( $p < 0,001$ ), rumination time by 16 min/day ( $p = 0,187$ ), and respiratory rate increased by 81,9 min/day ( $p < 0,001$ ). In the second event, feeding time decreased by 41,3 min/day ( $p < 0,001$ ), with increases in rumination (11,6 min/day;  $p = 0,083$ ) and respiratory rate (55,1 min/day;  $p < 0,001$ ). THI was negatively correlated with feeding time ( $r = -0,592$ ) and rumination time ( $r = -0,344$ ), and positively correlated with respiratory rate ( $r = 0,835$ ). These findings demonstrate that, even with mitigation strategies in place, heat waves significantly affected cow behavior and physiology, highlighting the need to reassess thermal stress management thresholds.

**Keywords:** temperature-humidity Index, automated monitoring, behaviors.

## Introducción

Los bovinos, como animales homeotermos, mantienen relativamente constante su temperatura corporal profunda en un rango conocido como “zona de termoneutralidad,” donde emplean mínima energía en termorregulación y la máxima energía se destina al metabolismo y a la producción (Mount, 1974; Godyn *et al.*, 2019). Sin embargo, cuando la disipación de calor no es suficiente para mantener la temperatura corporal basal, se alcanza la hipertermia o estrés por calor (Spiers, 2012). Bajo estas condiciones se activan los mecanismos termorreguladores para volver a la zona de termoneutralidad (Kamal *et al.*, 2016; Sejian *et al.*, 2018; Dos Santos *et al.*, 2021). Por lo cual, se producen cambios fisiológicos en el animal, tales como el aumento de la disipación de calor (coeficiente total de transferencia de calor), a través de mayor transpiración, jadeo y aumento de la temperatura de la superficie de la piel (Foroushani *et al.*, 2022). Además, se producen cambios comportamentales para facilitar la reducción endógena de generación de calor, por ejemplo, reduciendo el consumo de alimento y la actividad, aumentando el consumo de agua y la búsqueda de sombra y reduciendo el tiempo de descanso. Estas conductas mencionadas anteriormente desencadenan mecanismos de afrontamiento secundarios, ayudando a las respuestas termorreguladoras fisiológicas (Ratnakaran *et al.*, 2017; Madhusoodan *et al.*, 2019).

El estrés por calor se define como la suma de fuerzas ambientales externas que actúan sobre el animal causándole un aumento en la temperatura corporal, y la activación de ajustes fisiológicos y conductuales en primera instancia (Kadzere *et al.*, 2002). En ganado lechero, estos ajustes representan mecanismos de adaptación activados para tratar de mantener en equilibrio la homeostasis corporal (Herbut *et al.*, 2018).

El estrés por calor en bovinos puede ser medido utilizando indicadores basados en el ambiente (ej., “Índice de Temperatura y Humedad (ITH)”, “Temperatura de termómetro de globo negro”, “Índice de carga calórica”, entre otros), e indicadores basados en el animal llamados también “strain por calor”. Estos últimos, son signos de que se está produciendo discomfort térmico en el animal (ej., aumento de la tasa de respiración), o que ya ha ocurrido y hay un efecto a largo plazo (por ejemplo, reducción de la producción de leche (Dos Santos *et al.*, 2021). Utilizar estos indicadores basados en el animal para el control ambiental en el manejo del ganado es un desafío, ya que requiere un estrecho monitoreo en tiempo real de varios parámetros fisiológicos y operación de los sistemas de control ambiental basados sobre tales observaciones. A este desafío se suma el hecho que algunas respuestas termorreguladoras como la sudoración o la respiración tienden a ser muy variables aún entre individuos con el mismo genotipo y dentro del mismo rodeo en ganado de leche (Maia *et al.*, 2005 a, b; Gebremedhin *et al.*, 2010) y en ganado de carne (Gaughan *et al.*, 2010).

Por otro lado, recientes estudios climatológicos sugieren que la temperatura media global en el planeta podría incrementarse en más de 2 °C para el año 2050 (Al-Ghussain *et al.*, 2019). Conforme al calentamiento global continúe incrementándose, las situaciones de estrés por calor en ganado lechero también aumentarán en términos de frecuencia, duración y severidad (Min *et al.*, 2017; Theusme *et al.*, 2021). Cuando la carga de calor y humedad relativa es prolongada, (ola de calor), el patrón diario de alimentación y el de rumia cambia en el animal (Bernabucci *et al.*, 2010). Al respecto, Soriani *et al.*, (2013), observaron una disminución de la actividad de alimentación y de rumia en vacas en condiciones prolongadas de estrés calórico, y además un cambio en el patrón diario de rumia.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de condiciones meteorológicas extremas y prolongadas (olas de calor) sobre las respuestas fisiológicas y comportamentales de vacas lecheras en condiciones diurnas de confinamiento con acceso a sombras y sistema automatizado de refrescado.

## Materiales y Métodos

### Lugar y fecha de estudio

El estudio se realizó entre los meses de enero a abril 2023 (120 d) en el sistema de ordeño automático (AMS) de la Estación Experimental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) ubicado en la localidad de Rafaela (61° 29' 12,12" Longitud W y 31° 15' 1,19" Latitud S) provincia de Santa Fe, Argentina. Esta región se caracteriza por presentar un clima templado con veranos calurosos (Clasificación adaptada de Conde, 2000) donde los animales están expuestos a altas temperaturas durante más de tres meses al año (Toffoli *et al.*, 2016). La temperatura promedio de enero (históricamente el mes más cálido del año) es de 25,05 °C y la humedad relativa normal es de 68,5 % (Servicio Meteorológico Nacional, serie 1991-2020).

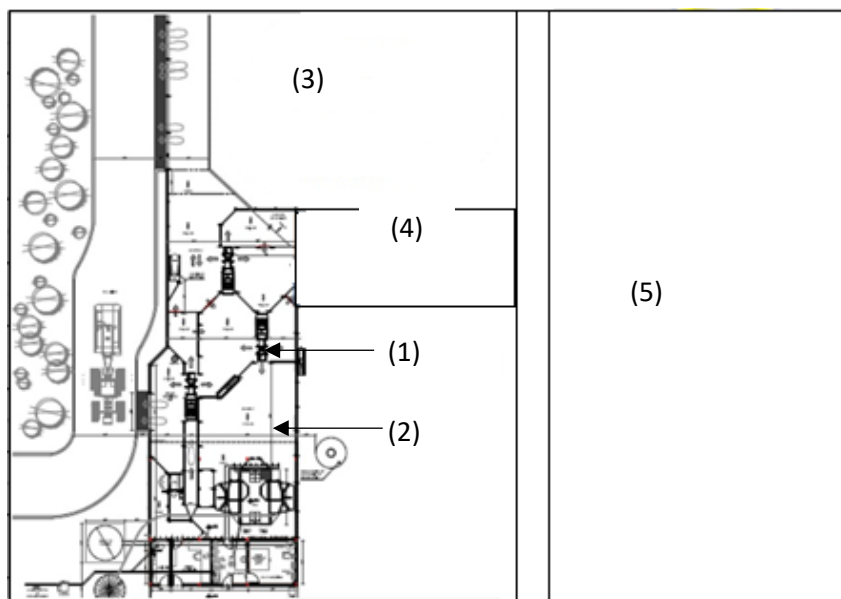
## Animales, instalaciones y manejo

El estudio se realizó con 34 vacas Holando argentino, las cuales estaban equipadas con collares de monitoreo automático mediante el sistema SenseHub (SCR Engineers Ltd., Netanya, Israel). Las mismas se encontraban en promedio en  $182 \pm 118$  d de lactancia, con un peso medio de  $565 \pm 71$  kg, producción promedio de leche de  $37,8 \pm 9,9$  L/vaca.día, con una condición corporal (CC) promedio de 3,4.

Mediante puertas inteligentes se manejaron los permisos de acceso de las vacas a los distintos sectores de las instalaciones en el periodo comprendido entre las 07:00 h hasta las 19:00 h. Estos sectores eran: (1) corral de espera, (2) unidad de ordeño voluntario (UO; DeLaval RV290, AMS, por sus siglas en inglés), y (3) patio de alimentación. El corral de espera disponía de un área techada con una red de media sombra (80% de intercepción solar) para protección del sol, y estaba equipado con un sistema de aspersión y ventilación (DeLaval®). Este sistema se activaba de manera automática cuando el ITH es  $\geq 68$ . Para motivar a los animales a concurrir a la UO, en el corral de espera se ubicaron bebederos, fabricados de polietileno resistente a luz ultravioleta (marca DeLaval, modelo T400) con una capacidad de 265 litros de agua de alta recuperación, con doble pared y resistentes a los golpes de las vacas. Además, las vacas tenían libre acceso a un cepillo mecánico (Cepillo estacionario SB DeLaval®) y a comederos (de acero inoxidable) donde se suministraba el alimento balanceado. La UO estaba ubicada en un área techada. El sistema, estaba provisto de un software (DelPro® DeLaval®) que gestionaba de manera automática todas las actividades ligadas al ordeño y al registro de datos del animal. Cuando las vacas salían de la UO accedían al patio de alimentación, provisto de sombra, ventiladores y aspersores que también se activaban automáticamente cuando el ITH alcanzaba un valor de 68. A continuación del patio de alimentación, se presentaba un área cubierta con techo de material reciclado con piso de compost de cama fría, (Figura 1), a la cual, dos veces por semana se pasaba un rabasto para mantener limpio y uniforme. La disponibilidad de sombra era de  $4 \text{ m}^2 \text{ animal}^{-1}$ .

Las vacas tenían acceso a la pastura a partir de las 19:00 h, donde permanecían hasta las 07:00 h de la mañana siguiente cuando retornaban a la UO.

El suministro de alimento se realizaba una vez por día a las 08:00 h, cuya composición de la dieta se ajustó a lo sugerido por NRC (2001), siendo: silaje de maíz (22,6%), heno de alfalfa (12,9%), semilla de algodón (7,0%), harina de soja Hi-Pro (6,3%), grasa (0,7%), balanceado (22,5%), harina de soja (LP) (2,9%), pastura de alfalfa (15,9%) y maíz molido (8,9%) siendo un total de materia seca de 26,96 Kg MS/vaca.día.



**Figura 1.** Esquema del diseño de las instalaciones del Tambo con sistema de ordeño robótico (AMS) del INTA Rafaela. (1) corral de espera, (2) unidad de ordeño voluntario (UO), (3) patio de alimentación, (4) callejón y (5) pasturas. Gentileza INTA Rafaela.

## Mediciones en el ambiente

Las variables meteorológicas necesarias para la determinación del índice de temperatura y humedad (ITH) y las olas de calor, fueron suministradas por la estación meteorológica Automática del INTA Rafaela:

temperatura mínima, temperatura máxima y humedad relativa registradas en forma horaria. Con los datos de temperatura del aire horaria y humedad relativa horaria se calculó el índice de temperatura y humedad horario (ITH), con la siguiente expresión (Thom, 1959):

$$ITH=1,8*t_a+32-(0,55-0,055*HR)*(1,8*t_a-26)$$

dónde:

ITH: índice de temperatura y humedad

t<sub>a</sub>: temperatura del aire en °C

HR: humedad relativa en %

El valor del ITH de 68 el cual se considera el umbral a partir del cual el ganado vacuno lechero adulto Holstein manifiesta estrés calórico, fue establecido por Herbut *et al.*, (2015).

Una vez calculados los ITH horarios se determinaron las olas de calor (OC). Se definió como OC a un período mínimo de tres días consecutivos en los que se registró un valor diario de ITH  $\geq$  68 durante 14 o más horas al día (Valtorta, *et al.*, 2002; Hahn *et al.*, 2003).

### Mediciones en el animal

Los tiempos de alimentación, rumia y respiración se registraron con sensores SenseHub (Versión: 6.3.3.234; SCR Engineers Ltd., Netanya, Israel). Cada sensor contiene un micrófono para monitorear la rumia y un acelerómetro (HR-LDn; SCR Engineers Ltd., Netanya, Israel) el cual integra la información sobre la tasa de respiración (min/d) junto con los movimientos relacionados con la alimentación, la rumia y la actividad animal. El sistema detecta la ocurrencia de la tasa de respiración en función de la magnitud, el ritmo y la dirección de los movimientos involucrados (Bar *et al.*, 2019).

El reporte obtenido del SenseHub, es un promedio diario de las conductas (min/d) del rodeo lechero.

Estas variables fueron definidas de la siguiente manera:

Tiempo de alimentación (TC) (min/d): tiempo diario que el animal destina a la aprensión del alimento, masticación para formación del bolo alimenticio para luego ser impulsado hacia el rumen.

Tiempo de rumia (TR) (min/d): tiempo diario que demanda un animal para realizar el proceso digestivo que incluye la regurgitación de la ingesta, remasticación y redegulación del bolo de alimento.

Tiempo o Tasa de respiración (TP) (min/d): tiempo diario con respiración agitada hacia adelante y hacia atrás, con una frecuencia respiratoria acelerada y una mayor extensión de la pared torácica.

### Análisis estadístico

Con el objetivo de estudiar el impacto de las olas de calor (OC), y en base a la definición previamente establecida, se procedió a filtrar los datos meteorológicos y productivos para identificar los días comprendidos dentro de eventos de ola de calor y aquellos correspondientes a períodos sin ola de calor (S/OC). Esta clasificación permitió delimitar los intervalos adecuados para un análisis comparativo entre condiciones térmicas contrastantes.

El análisis estadístico se realizó utilizando el software R (R Core Team, 2024). Para evaluar el efecto de las olas de calor sobre los indicadores fisiológicos, se llevaron a cabo comparaciones de medias entre los períodos con OC y S/OC mediante pruebas t para muestras independientes.

Además, se calcularon coeficientes de correlación de Pearson para determinar la asociación entre el índice de temperatura y humedad (ITH diario) y los tiempos diarios de alimentación (TC), rumia (TR) y respiración (TP).

Se consideraron diferencias estadísticamente significativas cuando  $p < 0,05$ .

### Resultados

Durante el período de observación, el ITH máximo diario registrado fue 80,4 y el ITH mínimo diario fue 56,8 ocurriendo en los meses de marzo y abril, respectivamente (Tabla 1). El mes con mayor número de días con ITH  $\geq$  68 fue enero con 31 días consecutivos. En relación al número diario de horas promedio de ITH superior al umbral de 68, ocurrió en el mes de marzo con 30 días con un total de 21,5 horas con ITH por encima de ese umbral.

**Tabla 1.** Valores de índice de temperatura y humedad (ITH), mínimo y máximo, número de días con ITH  $\geq 68$ , número de horas por día por mes promedio con ITH  $\geq 68$ , desviación estándar ( $\pm$  DE) de ITH correspondiente a los meses de enero, febrero, marzo y abril 2023 registrados en Rafaela.

Mes	ITH (min-máx.)	Número de días en el mes con ITH $\geq 68$	Número de horas/día/mes	ITH (promedio mensual $\pm$ DE)
Enero	66,4–80,0	31	21,1	74 $\pm$ 2,6
Febrero	63,3–77,9	24	17,4	71,4 $\pm$ 5,8
Marzo	68,0–80,4	30	21,5	74,5 $\pm$ 3,4
Abril	56,8–71,6	7	7,4	64,4 $\pm$ 4,4

Durante el ensayo, se registraron dos olas de calor (OC) consecutivas, separadas por un intervalo de seis días con valores de ITH inferiores a 68 y con diferentes duraciones. La primera OC se inició el 27 de diciembre 2022 y finalizó el 16 de febrero 2023 y la segunda OC se extendió desde el 23 de febrero hasta el 31 de marzo 2023. En la tabla 2 se presentan las características de las dos olas de calor.

**Tabla 2.** Valores de índice de temperatura y humedad (ITH) y horas con ITH  $\geq 68$  y desviación estándar ( $\pm$  DE), durante las olas de calor (OC) correspondiente a los meses de enero, febrero, marzo y abril 2023 registrados en Rafaela.

OC	Duración OC (d)	ITH (min-máx.)	ITH (promedio $\pm$ DE)	h/d con ITH $> 68$
OC1	52	69,0 - 80,3	73,9 $\pm$ 2,7	20,6
OC2	37	69,7 - 79,0	74,2 $\pm$ 3,2	20,9

En la Tabla 3 se presenta los promedios, mínimos y máximos de los valores de ITH, del tiempo de alimentación, rumia y de la tasa de respiración (min/d) durante los eventos de OC y del periodo en el que no se produjo una OC (S/OC) para los meses en estudio.

**Tabla 3.** Valores promedios, mínimos y máximos diarios de índice de temperatura y humedad (ITH), tiempo diario de alimentación (TC), tiempo diario de rumia (TR) y tasa de respiración (TP), registrados en 34 vacas Holstein en lactancia, durante las olas de calor (OC) y sin olas de calor (S/OC) correspondiente a los meses de enero, febrero, marzo y abril 2023 en Rafaela.

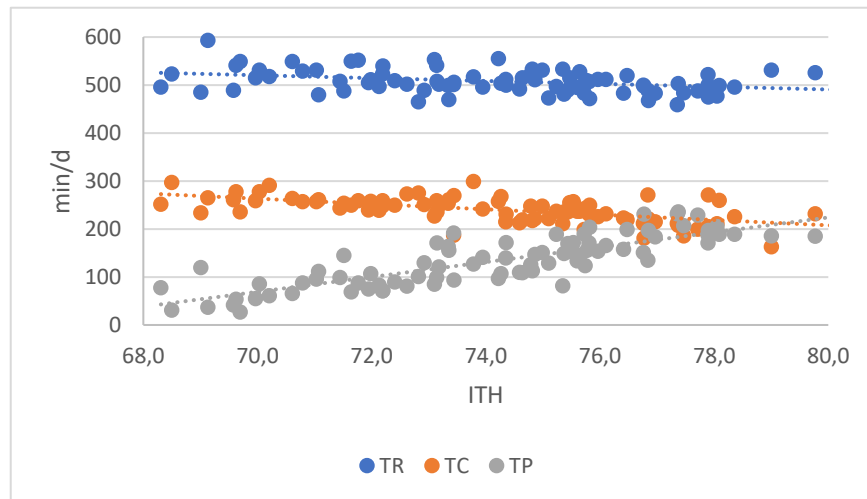
	ITH (min-máx.)	TC min/d (min-máx.)	TR min/d (min-máx.)	TP min/d (min-máx.)
OC1	73,9 (69,0 - 80,3)	246,7* (212 - 299)	509,7 (468 - 593)	125,9* (37 - 204)
S/OC	63,0 (55,2 - 70,7)	283 (258 - 318)	525,7 (463 - 579)	44 (13 - 73)
OC2	74,2 (69,7 - 79,0)	232,1* (163 - 297)	506,2 (459 - 552)	142,4* (27 - 236)
S/OC	64,4 (57,9 - 71,9)	273,4 (226 - 308)	494,6 (434 - 543)	87,3 (38 - 167)

\*Los asteriscos indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,001$ ) entre las OC y su respectivo S/OC.

Comparando los tiempos destinados a alimentación, rumia y respiración entre la primera ola de calor (OC) y el período posterior sin OC, se observó una reducción significativa en el tiempo de alimentación (TC) de 36,3 min/d ( $p < 0,001$ ), mientras que el tiempo de rumia (TR) disminuyó 16 min/d, aunque sin diferencias significativas ( $p = 0,187$ ). En contraste, el tiempo dedicado a la respiración (TP) aumentó significativamente en 81,9

min/d ( $p < 0,001$ ). Durante la segunda OC, el TC disminuyó 41,3 min/d ( $p < 0,001$ ), mientras que el TR y el TP se incrementaron en 11,6 ( $p = 0,083$ ) y 55,1 min/d ( $p < 0,001$ ), respectivamente, en comparación con el periodo sin OC.

Asimismo, durante las dos olas de calor, el índice de temperatura y humedad (ITH) mostró una correlación negativa fuerte con el TC ( $r = -0,592$ ;  $p < 0,001$ ) y una correlación negativa moderada con el TR ( $r = -0,344$ ;  $p = 0,001$ ). Por el contrario, se observó una correlación positiva muy fuerte entre el ITH y el TP ( $r = 0,835$ ;  $p < 0,001$ ) (Figura 2).



**Figura 2.** Correlaciones entre el índice de temperatura y humedad medio diario (ITH) y variables fisiológicas: tiempo de alimentación (TC), tiempo de rumia (TR) y tasa respiratoria (TP), registradas durante las dos olas de calor. Se presentan los valores promedio diarios por grupo. Los coeficientes de correlación de Pearson ( $r$ ) están indicados en paréntesis.

## Discusión

Analizando la influencia de las condiciones ambientales sobre el comportamiento animal durante los eventos de olas de calor registradas en el verano 2023, se observaron modificaciones en las respuestas comportamentales bajo estudio (tiempo de alimentación, rumia y de respiración), con tendencias que podrían comprometer el bienestar y la producción. Los resultados mostraron un efecto directo del ITH sobre el comportamiento de las vacas lecheras.

La reducción del tiempo de alimentación durante las olas de calor se puede explicar como un mecanismo de adaptación al estrés térmico, dado que la digestión del forraje genera calor metabólico (Lamp *et al.*, 2015; Ammer *et al.*, 2018). En el caso del tiempo de rumia, los resultados fueron inconsistentes entre los dos eventos, con una leve tendencia negativa en la primera OC y un aumento en la segunda OC. Esto sugiere que la rumia podría estar regulado por otros factores además del ITH, como el estado productivo o la posibilidad de tener recuperación nocturna, y que el efecto directo del calor sobre esta conducta no es concluyente en este estudio. No obstante, antecedentes como Moretti *et al.* (2017) identificaron una fuerte sensibilidad de estas conductas a condiciones de calor en vacas Holstein. Asimismo, Soriani *et al.* (2013) reportaron una reducción y redistribución horaria de la rumia bajo condiciones de estrés térmico prolongado. En nuestro estudio no se evaluó el patrón horario, pero los resultados generales son consistentes con estos antecedentes. Estas adaptaciones, aunque fisiológicamente protectoras, pueden generar desequilibrios en el metabolismo ruminal, con impacto en la salud y la producción de leche (Tao *et al.*, 2020; Grinter *et al.*, 2022).

Las condiciones extremas también afectaron el tiempo de respiración. Se observó una correlación muy fuerte entre el ITH y el tiempo de respiración ( $r = 0,835$ ), lo que confirma que este parámetro es uno de los primeros en responder al estrés térmico, tal como lo describen Polsky y Von Keyserlingk (2017) y Bar *et al.* (2019). La respuesta observada es coherente con lo informado por Rhoads *et al.* (2009) y Wheelock *et al.* (2010), quienes destacaron el aumento de la tasa respiratoria como mecanismo de disipación de calor. Este comportamiento suele ser el primer signo visible de estrés térmico, aunque puede estar precedido por otros mecanismos fisiológicos como cambios en el flujo sanguíneo y la sudoración (Robertshaw, 2006). El aumento en la frecuencia respiratoria genera pérdida de calor por evaporación a través de la mucosa del tracto respiratorio (Brown-Brandl *et al.*, 2006; Mader *et al.*, 2006; Gaughan *et al.*, 2008), y su monitoreo en tiempo real mediante sensores

como los utilizados en este estudio representa una ventaja respecto de métodos observacionales clásicos (Grin-ter *et al.*, 2022).

Diversos autores (Becker & Stone, 2020; Almuhanha *et al.*, 2021) demostraron que la implementación de estructuras de mitigación, como sombras combinadas con ventiladores y aspersores, puede reducir parcialmente los efectos del estrés térmico. En nuestro estudio, si bien no se incluyó un grupo control sin acceso a estas tecnologías, se observó que, a pesar de contar con sistemas de enfriamiento durante el período diurno, las vacas manifestaron alteraciones fisiológicas y conductuales durante las olas de calor. Esto podría explicarse por la intensidad y duración de los eventos térmicos, así como por la limitada oportunidad de recuperación nocturna reportada por otros autores (Silanikove *et al.*, 2009; Vizzotto *et al.*, 2015).

En conjunto, estos resultados refuerzan la necesidad de revisar los umbrales tradicionales de activación de los sistemas de enfriamiento, como el ITH  $\geq 68$  propuesto por Herbut *et al.* (2015). La evidencia obtenida sugiere que, en condiciones de olas de calor prolongadas, podrían requerirse umbrales más bajos o estrategias complementarias para preservar el bienestar y la eficiencia productiva del rodeo lechero.

Los resultados de este estudio indican que las olas de calor tuvieron un impacto significativo en las respuestas fisiológicas y comportamentales de las vacas lecheras, incluso en presencia de estructuras de mitigación como sombras y sistemas de enfriamiento. Se observaron reducciones en el tiempo destinado a alimentación y rumia, y un marcado aumento en el tiempo de respiración, lo que evidencia la sensibilidad de estos parámetros al estrés térmico. Las correlaciones detectadas con el índice de temperatura y humedad (ITH) refuerzan el valor de estas variables como indicadores indirectos de bienestar. Estos hallazgos sugieren que los umbrales tradicionales de activación de sistemas de enfriamiento podrían no ser suficientes frente a eventos extremos, y que sería necesario ajustar las estrategias de manejo para garantizar el confort térmico del rodeo. El uso de tecnologías de monitoreo en tiempo real se presenta como una herramienta prometedora para la detección precoz de cambios fisiológicos asociados al estrés térmico.

## Referencias

- Al-Ghussain L, 2019. Global warming: Review on driving forces and mitigation. *Environ. Prog. Sustain. Energy* 38, 13-21. DOI:10.1002/ep.13041
- Almuhanha EA, Gamea GR, Osman OE, Almahdi FM. 2021. Performance of roof-mounted misting fans to regulate heat stress in dairy cows. *J. Therm. Biol.* 99: DOI: 10.1016/j.jtherbio.2021.102984
- Ammer S, Lambertz C, Von Soosten D, Zimmer K, Meyer U, Danicke SD, Gauly M. 2018. Impact of diet composition and temperature–humidity index on water and dry matter intake of high-yielding dairy cows. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 102:103-113. DOI: 10.1111/jpn.12667
- Bar D, Kaim M, Flamenbaum I, Hanochi B, Toaff-Rosenstein RL. 2019. Technical note: Accelerometer-based recording of heavy breathing in lactating and dry cows as an automated measure of heat load. *J. Dairy Sci.* 102:3480-3486. DOI:10.3168/jds.2018-15186
- Becker CA, Stone AE. 2020. Graduate student literature review: heat abatement strategies used to reduce negative effects of heat stress in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 103:9667-9675. DOI: 10.3168/jds.2020-18355
- Bernabucci U, Lacetera N, Baumgard LH, Rhoads RP, Ronchi B, Nardone A. 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal* 4: 1167-1183. DOI: 10.1017/S175173111000090X
- Brown-Brandl TM, Eigenberg RA, Nienaber JA. 2006. Heat stress risk factors of feedlot heifers. *Livest. Sci.* 105: 57-68. DOI: 10.1016/j.livsci.2006.04.025
- Conde J, 2000. Mapa climático Köppen. <https://www.terra.es/personal/jesusconde>. Consultado el 25 de noviembre de 2007.
- Dos Santos MM, Freire Souza-Junior JB, Tavares Dantas MR, Lelis de Macedo Costa L. 2021. An updated review on cattle thermoregulation: physiological responses, biophysical mechanisms, and heat stress alleviation pathways. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28: 30471-30485. DOI: 10.1007/s11356-021-14077-0
- Foroushani S, Amon T. 2022. Thermodynamic assessment of heat stress in dairy cattle: lessons from human biometeorology. *Int. J. Biometeorol.* 66: 1811-1827. DOI: 10.1007/s00484-022-02321-2

- Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Lisle A. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 86: 226-234. DOI: 10.2527/jas.2007-0305
- Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Sullivan ML, Hahn GL. 2010. Assessing the heat tolerance of 17 beef cattle genotypes. *Int. J. Biometeorol.* 54: 617-627. DOI: 10.1007/s00484-009-0233-4
- Gebremedhin KG, Lee CN, Hillman PE, Collier RJ. 2010. Physiological responses of dairy cows during extended solar exposure. *Trans. ASABE* 53: 239-247. DOI: 10.13031/2013.29459
- Godyń D, Herbut P, Angrecka S. 2019. Measurements of peripheral and deep body temperature in cattle – a review. *J. Therm. Biol.* 79: 42-49. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.11.011
- Grinter LN, Mazon G, Costa JHC. 2022. Voluntary heat stress abatement system for dairy cows: Does it mitigate the effects of heat stress on physiology and behaviour. *J. Dairy Sci.* 106: 519-533. DOI: 10.3168/jds.2022-21802
- Hahn GL, Mader TL, Eigenberg RA. 2003. Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. En: Lacetera N, Bernabucci U, Khalifa H, Ronchi B, Nardone A (eds.). *Interactions between climate and animal production*. EAAP Technical Series N° 7. Pp. 31-44.
- Herbut P, Angrecka S, Walczak J. 2018. Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle – a review. *Int. J. Biometeorol.* 62: 2089-2097. DOI: 10.1007/s00484-018-1629-9
- Herbut P, Bieda W, Angrecka S. 2015. Influence of hygrothermal conditions on milk production in a free stall barn during hot weather. *Anim. Sci. Pap. Rep.* 33: 49-58.
- Kadzere CT, Murphy MR, Silanikove N, Maltz E. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 77: 59-91. DOI: 10.1016/S0301-6226(01)00330-X
- Kamal R, Dutt T, Patel M, Dey A, Chandran PC, Bharti PK, Barari SK. 2016. Behavioural, biochemical and hormonal responses of heat-stressed crossbred calves to different shade materials. *J. Appl. Anim. Res.* 44: 347-354. DOI: 10.1080/09712119.2015.1074076
- Lamp O, Derno M, Otten W, Mielenz M, Nürnberg G, Kuhla B. 2015. Metabolic heat stress adaption in transition cows: Differences in macronutrient oxidation between late-gestating and early-lactating German Holstein dairy cows. *PLoS ONE* 10: e0125264. DOI: 10.1371/journal.pone.0125264
- Mader TL, Davis MS, Brown-Brandl T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84: 712-719. DOI: 10.2527/2006.843712X
- Madhusoodan AP, Sejjian V, Rashamol VP, Savitha ST, Bagath M, Krishnan G, Bhatta R. 2019. Resilient capacity of cattle to environmental challenges - an updated review. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 7: 104-118. DOI: 10.31893/2318-1265jabb.v7n3p104-118
- Maia ASC, Da Silva RG, Loureiro CMB. 2005a. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. *Int. J. Biometeorol.* 50: 17-22. DOI: 10.1007/s00484-005-0267-1
- Maia ASC, Da Silva RG, Loureiro CMB. 2005b. Respiratory heat loss of Holstein cows in a tropical environment. *Int. J. Biometeorol.* 49: 332-336. DOI: 10.1007/s00484-004-0244-0
- Min L, Zhao S, Tian H, Zhou X, Zhang Y, Li S. 2017. Metabolic responses and “omics” technologies for elucidating the effects of heat stress in dairy cows. *Int. J. Biometeorol.* 61: 1149-1158. DOI: 10.1007/s00484-015-1107-y
- Moretti R, Biffani S, Chessa S, Bozzi R. 2017. Heat stress effects on Holstein dairy cows' rumination. *Animal* 11: 2320-2325. DOI: 10.1017/S1751731117001173
- Mount LE. 1974. Thermal neutrality. En: Monteith JL, Mount LE (eds.). *Heat loss from animals and man*. Ed. Butterworths, London. Pp. 205-231.
- NRC. 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th rev. ed. National Academy of Sciences, Washington, DC. 381 pp.
- Polsky L, Von Keyserlingk MAG. 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.* 100: 8645-8657. DOI: 10.3168/jds.2017-12651
- R Core Team. 2024. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

- Ratnakaran AP, Sejian V, Jose VS, Vaswani S, Bagath M, Krishnan G, Beena V, Indira DP, Varma G, Bhatta R. 2017. Behavioural responses to livestock adaptation to heat stress challenges. *Asian J. Anim. Sci.* 11: 1-13. DOI: 10.3923/ajas.2017.1.13
- Rhoads ML, Rhoads RP, VanBaale MJ, Collier RJ, Sanders SR, Weber WJ, Crooker BA, Baumgard LH. 2009. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *J. Dairy Sci.* 92: 1986-1997. DOI: 10.3168/jds.2008-1641
- Robertshaw D. 2006. Mechanisms for the control of respiratory evaporative heat loss in panting animals. *J. Appl. Physiol.* 101: 664-668. DOI: 10.1152/jappphysiol.01380.2005
- Sejian V, Bhatta R, Gaughan JB, Dunshea FR, Lacetera N. 2018. Review: adaptation of animals to heat stress. *Animal* 12: 431-444. DOI: 10.1017/S1751731118001945
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2023. Estadísticas Climáticas Normales 1991-2020. <https://www.smn.gob.ar/>
- Silanikove N, Shapiro F, Shinder D. 2009. Acute heat stress brings down milk secretion in dairy cows by up-regulating the activity of the milk-borne negative feedback regulatory system. *BMC Physiol.* 9: 13. DOI: 10.1186/1472-6793-9-13
- Soriani N, Panella G, Calamari L. 2013. Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *J. Dairy Sci.* 96: 5082-5094. DOI: 10.3168/jds.2013-6620
- Spiers DE. 2012. Physiological basics of temperature regulation in domestic animals. En: Collier RJ, Collier JL (eds.). *Environmental physiology of livestock*. Ed. John Wiley & Sons, Chichester, UK. Pp. 17-34.
- Tao S, Rivas RMO, Marins TN, Chen YC, Gao J, Bernard JK. 2020. Impact of heat stress on lactational performance of dairy cows. *Theriogenology* 150: 437-444. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2020.02.048
- Theusme C, Avendaño-Reyes L, Macías-Cruz U, Correa-Calderón U, García-Cueto RO, Mellado M, Vargas-Villamil L. 2021. Climate change vulnerability of confined livestock systems predicted using bioclimatic indexes in an arid region of México. *Sci. Total Environ.* 751: 141779. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141779
- Thom EC. 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12: 57-59. DOI: 10.1080/00431672.1959.9926960
- Toffoli GD, Leva PE, García MS. 2016. Régimen agroclimático de olas de calor en dos localidades del centro santafesino. XVII Reunión Argentina de Agrometeorología, Merlo, San Luis, Argentina.
- Valtorta SE, Leva PE, Gallardo MR, Scarpatti OE. 2002. Milk production responses during heat waves events in Argentina. En: American Meteorological Society (ed.). *Conference on Biometeorology and Aerobiology (15th); International Congress on Biometeorology (16th)*, Kansas City, Mo. Ed. American Meteorological Society, Boston. Pp. 98-101.
- Vizzotto EF, Fischer V, Neto AT, Stumpf MT, Kolling GJ, McManus CM. 2015. Behavior of dairy cows with and without access to shade: Physical activity and physiological parameters. *J. Dairy Sci.* 98: 6085-6093. DOI: 10.3168/jds.2014-9116