

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**ESTUDIO DE VARIABLES FISIOLÓGICAS EN CONDICIONES
CLIMÁTICAS DE VERANO EN LA RAZA CHAROLAIS EN EL LITORAL
NORTE DE URUGUAY**

por

Felipe LANFRANCO DUTRA DA SILVEIRA

Cristian Rafael PEDROZO ALTESOR

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2025

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia

“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**”.



Página de aprobación

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dr.) Paula Batista

Codirector/a:

Ing. Agr. (Dr.) Ana Carolina Espasandin

Tribunal:

Ing. Agr. (Dr.) Ana Carolina Espasandin

Dr. Vet. (Dr.) Alberto Casal

Alphonse Wyaux

Fecha:

8 de diciembre de 2025

Estudiante:

Felipe Lanfranco Dutra da Silveira

Cristian Rafael Pedrozo Altesor

Agradecimientos

A nuestras familias, por su apoyo incondicional, comprensión y aliento constante a lo largo de nuestra vida y de esta etapa académica, pilares fundamentales para alcanzar este logro.

A Paula Batista, nuestra tutora, por su compromiso, orientación y dedicación durante todo el desarrollo de este trabajo, así como por su paciencia y acompañamiento permanente.

A nuestros amigos, por su compañía, motivación y por estar presentes en cada etapa del proceso, brindando siempre su apoyo y entusiasmo.

A Alphonse, por su generosidad al recibirnos en su establecimiento y por las facilidades brindadas para la realización del trabajo, y a Juan, por su colaboración y ayuda con los animales.

Finalmente, a la Facultad de Agronomía y la Universidad de la República, por brindarnos la oportunidad de formarnos, crecer profesionalmente y hacer posible la concreción de este trabajo.

A la EEMAC, por todas las vivencias y personas que conocimos.

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| Página de aprobación..... | 3 |
| Agradecimientos..... | 4 |
| Resumen | 7 |
| Abstract..... | 8 |
| 1 Introducción..... | 9 |
| 2 Objetivos..... | 11 |
| 2.1 Objetivo general: | 11 |
| 2.2 Objetivos específicos:..... | 11 |
| 3 Revisión bibliográfica | 12 |
| 3.1 Caracterización de la raza..... | 12 |
| 3.2 Estrés calórico en ganado bovino | 12 |
| 3.2.1 Definición y factores climáticos desencadenantes | 12 |
| 3.2.2 Factores del animal predisponentes al estrés térmico..... | 13 |
| 3.2.3 Efectos en el comportamiento | 16 |
| 3.2.4 Efectos del estrés térmico sobre la reproducción bovina | 18 |
| 3.3 Índice de Temperatura y Humedad (ITH) | 18 |
| 3.3.1 Qué es, cómo se calcula y cómo se interpreta | 18 |
| 3.3.2 Niveles de riesgo térmico según el ITH | 19 |
| 3.4 Estrategias de mitigación..... | 20 |
| 3.4.1 Sombra..... | 20 |
| 3.4.2 Acceso al agua | 21 |
| 3.4.3 Intervenciones nutricionales | 22 |
| 4 Materiales y métodos..... | 24 |
| 5 Resultados y discusión | 28 |
| 6 Conclusiones..... | 47 |
| 7 Bibliografía..... | 49 |
| 8 Anexos..... | 55 |

Lista de tablas y figuras

| | | |
|------------------|---|----|
| Tabla 1 | Rangos de valores de ITHaj y cómo interpretarlos | 20 |
| Tabla 2 | Registros de producción animal (19/12/01-25/02/02)..... | 21 |
| Tabla 3 | Características de las dietas calientes y frías | 22 |
| Tabla 4 | Línea de tiempo y mediciones realizadas | 25 |
| Tabla 5 | Datos climatológicos e índices de estrés térmico para las fechas donde se realizaron mediciones | 26 |
| Tabla 6 | ITH clásico y ajustado con valores promedios diarios y horarios para cada día de evaluación | 29 |
| Tabla 7 | Significancia de los efectos del ITHaj, la categoría, PV y la interacción ITHaj x Categorías sobre variables fisiológicas..... | 37 |
| Tabla 8 | Medias ajustadas de la TR según el ITHaj y la categoría animal para am y pm de cada día evaluado..... | 38 |
| Tabla 9 | Medias ajustada de la FR según el ITHaj y la categoría animal para am y pm de cada día evaluado..... | 40 |
| Tabla 10 | Medias ajustadas de la TFr según ITHaj y la categoría animal para am y tarde pm de cada día evaluado..... | 42 |
| Tabla 11 | Medias ajustadas de la TFl °C según ITHaj y la categoría animal para am y pm de cada día evaluado..... | 44 |
| | | |
| Figura 1 | FR (resp/min) a medida que aumenta la temperatura ambiente (C°) (a); puntaje de jadeo a medida que aumenta la temperatura (C°) (b) | 15 |
| Figura 2 | Probabilidad de que el ganado esté de pie en función del HLI..... | 17 |
| Figura 3 | ITH ajustado diario desde 1/11/2024 al 1/2/2025 | 28 |
| Figura 4 | Correlaciones entre ITHaj y comportamientos | 30 |
| Figura 5 | Análisis de componentes principales (PCA) -biplot | 31 |
| Figura 6 | Efecto del ITHaj sobre la TR de los datos observados | 32 |
| Figura 7 | Efecto del ITH ajustado sobre la FR de los datos observados..... | 33 |
| Figura 8 | Tfr de los datos observados con respecto al ITHaj | 34 |
| Figura 9 | Tfl de los datos observados con respecto al ITHaj | 34 |
| Figura 10 | TR promedio y desvío estándar en distintas categorías de PV | 35 |
| Figura 11 | FR promedio y desvío estándar en distintas categorías de PV | 35 |
| Figura 12 | Tfr y Tfl con según rangos de PV | 36 |

Resumen

El estrés térmico constituye uno de los principales desafíos para la producción ganadera en regiones subtropicales, donde las altas temperaturas, humedad relativa elevada e intensa radiación solar afectan la eficiencia productiva, el bienestar animal y la sostenibilidad de los sistemas pastoriles. En Uruguay, la frecuencia e intensidad de los eventos de calor extremo han aumentado en las últimas décadas, especialmente en el litoral norte, donde las condiciones climáticas superan cada vez con mayor frecuencia los umbrales críticos para el ganado. En este contexto, comprender las respuestas fisiológicas de las razas utilizadas en la producción de carne resulta fundamental para desarrollar estrategias de manejo y selección genética orientadas a la resiliencia climática. La raza Charolais, de origen francés y reconocida por su alto rendimiento carnicero, tuvo una presencia importante en Uruguay, aunque su población disminuyó debido a su gran tamaño y mayores requerimientos nutricionales. No obstante, su pelaje claro y la evidencia reciente de variabilidad intra-racial en tolerancia al calor sugieren una capacidad de adaptación mayor a la esperada, justificando su reevaluación en ambientes subtropicales. El objetivo de este estudio fue evaluar respuestas fisiológicas al estrés calórico en bovinos Charolais durante el verano en Paysandú, Uruguay. Se trabajó con 21 animales de distintas categorías (toro, torito, vacas, vaquillonas, terneros y terneras) mantenidos a campo natural. Se realizaron 7 mediciones entre diciembre 2024 y enero 2025, en horarios críticos (07:00 y 14:00 h). Se registraron variables climáticas y se calculó el Índice de Temperatura y Humedad ajustado por velocidad del viento y radiación solar (ITHaj). Durante noviembre-febrero, el ITHaj promedio fue de $79,3 \pm 5,8$, correspondiente a condiciones de emergencia térmica, con máximos de 91,5 a media tarde. El rodeo permaneció 49 días en emergencia, 27 en peligro y solo 4 días en confort térmico. Se observó una correlación positiva entre ITHaj y temperatura rectal (TR; $r = 0,43$) y entre ITHaj y frecuencia respiratoria (FR; $r = 0,61$). Durante la mañana (ITHaj 47,7–73), los animales mantuvieron TR entre 38,3 y 39,4 °C, FR entre 40 y 56 rpm, temperatura de la frente (TFr) entre 31,3 y 36,6 °C y temperatura del flanco (TFl) entre 34 y 36,6 °C, indicando estabilidad térmica. En la tarde (ITHaj 78,5–90), todas las variables aumentaron significativamente: TR hasta 40,2 °C, FR > 90 rpm, TFr en torno a 46 °C y TFl hasta 44,7 °C, reflejando un mayor esfuerzo de disipación mediante hiperventilación y vasodilatación periférica. Las categorías adultas mostraron los mayores incrementos, mientras que los animales jóvenes presentaron respuestas más moderadas, sugiriendo mejor recuperación térmica. Los resultados confirman una asociación positiva entre ITHaj y variables fisiológicas, evidenciando que el ambiente térmico es el principal determinante de la respuesta fisiológica del ganado Charolais en verano. La TFl se destacó como un indicador superficial sensible del grado de estrés. En conclusión, existe variabilidad individual aprovechable para la selección de animales más resilientes, y es importante integrar ITHaj con mediciones fisiológicas para el monitoreo del bienestar y la gestión adaptativa en sistemas pastoriles subtropicales.

Palabras clave: estrés térmico, Charolais, ITH ajustado

Abstract

Heat stress is one of the main challenges for livestock production in subtropical regions, where high temperatures, high relative humidity and intense solar radiation affect productive efficiency, animal welfare and the sustainability of pastoral systems. In Uruguay, the frequency and intensity of extreme heat events have increased in recent decades, especially on the northern coast, where climatic conditions increasingly exceed critical thresholds for livestock. In this context, understanding the physiological responses of breeds used in beef production is essential to develop management and genetic selection strategies aimed at climate resilience. The Charolais breed, of French origin and recognized for its high meat yield, had an important presence in Uruguay, although its population decreased due to its large size and higher nutritional requirements. However, its light coat and recent evidence of intra-racial variability in heat tolerance suggest a higher adaptability than expected, justifying its re-evaluation in subtropical environments. The objective of this study was to evaluate physiological responses to heat stress in Charolais cattle during the summer in Paysandú, Uruguay. We worked with 21 animals of different categories (bulls, bulllets, cows, heifers, calves and heifers) kept in natural range. Seven measurements were taken between December 2024 and January 2025, at critical times (07:00 and 14:00 h). Climatic variables were recorded and the Temperature and Humidity Index adjusted for wind speed and solar radiation (ITHaj) was calculated. During November-February, the average ITHaj was 79.3 ± 5.8 , corresponding to thermal emergency conditions, with a maximum of 91.5 in mid-afternoon. The herd remained 49 days in emergency, 27 in danger and only 4 days in thermal comfort. A positive correlation was observed between ITHaj and rectal temperature (TR; $r = 0.43$) and between ITHaj and respiratory frequency (FR; $r = 0.61$). During the morning (ITHaj 47.7-73), animals maintained TR between 38.3 and 39.4 °C, FR between 40 and 56 rpm, forehead temperature (TFr) between 31.3 and 36.6 °C and flank temperature (TFl) between 34 and 36.6 °C, indicating thermal stability. In the afternoon (ITHaj 78.5-90), all variables increased significantly: TR up to 40.2 °C, FR > 90 rpm, TFr around 46 °C and TFl up to 44.7 °C, reflecting increased dissipation effort through hyperventilation and peripheral vasodilation. Adult categories showed the largest increases, while young animals presented more moderate responses, suggesting better thermal recovery. The results confirm a positive association between ITHaj and physiological variables, evidencing that the thermal environment is the main determinant of the physiological response of Charolais cattle in summer. TFl stood out as a sensitive surface indicator of the degree of stress. In conclusion, there is individual variability that can be exploited for the selection of more resilient animals, and it is important to integrate ITHaj with physiological measurements for welfare monitoring and adaptive management in subtropical pastoral systems.

Keywords: heat stress, Charolais, Temperature and Humidity Index adjusted

1 Introducción

El estrés calórico es uno de los principales factores que afecta negativamente la productividad en el ganado de carne, ya que reduce el consumo de alimento y, en consecuencia, disminuye la tasa de crecimiento y la ganancia de peso (Arias et al., 2008). Además, incrementa el discomfort y compromete el bienestar animal, al generar estrés fisiológico y conductual que puede afectar la salud, la eficiencia productiva y la calidad de vida del animal (Rovira, 2012).

Las altas temperaturas ambientales, combinadas con elevada humedad relativa y una intensa radiación solar, limitan la capacidad de termorregulación de los animales, provocando alteraciones fisiológicas que se traducen en pérdidas productivas significativas.

El aumento de la temperatura corporal y la frecuencia respiratoria son las primeras respuestas fisiológicas típicas que el ganado presenta frente al exceso de calor, reflejando el esfuerzo por mantener la homeostasis térmica, lo cual implica un gasto energético adicional que compromete la producción. Diversos estudios (Blackshaw & Blackshaw, 1994; Lees et al., 2020; Salvador, 2007) han demostrado que el estrés calórico no solo afecta la fisiología del animal, sino que también modifica su comportamiento, reduciendo el tiempo dedicado al pastoreo y aumentando los periodos de descanso.

A su vez, la exposición prolongada a condiciones de calor extremo puede inducir cambios hormonales y metabólicos que afectan la síntesis de proteínas y el depósito de grasa, afectando negativamente la calidad de la carne y su valor comercial (González-Rivas et al., 2020).

En este sentido, Saravia y de Souza (2023) demostraron que, en el departamento de Paysandú, durante el período 1970/1971–2021/2022, el 96,6% de los veranos analizados registraron al menos una ola de calor. Según la World Meteorological Organization (WMO, s.f.) se considera ola de calor cuando se producen temperaturas máximas y mínimas anormalmente elevadas durante varios días consecutivos, siendo las temperaturas mínimas especialmente relevantes, ya que la falta de enfriamiento nocturno intensifica la carga térmica.

A nivel mundial, el cambio climático proyecta un aumento en la frecuencia, intensidad y duración de las olas de calor, lo que incrementará la exposición del ganado a condiciones de estrés térmico extremo (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023). Se espera que las temperaturas medias globales aumenten entre 1,5 y 2 °C en las próximas décadas, acompañado de episodios más frecuentes de calor extremo y alteraciones en los patrones de humedad. Estas condiciones no solo afectan la productividad y la eficiencia alimentaria del ganado, sino que también incrementan los riesgos para su salud y bienestar, haciendo imprescindible el desarrollo de estrategias de manejo, selección genética y adaptación racial para mitigar los efectos negativos del calor.

En este contexto, la **raza Charolais**, reconocida por su pelaje claro y su destacado desarrollo muscular, ha mostrado respuestas particulares al calor en comparación con otras razas, lo que sugiere diferencias en su capacidad de adaptación a ambientes cálidos (Brown-Brandl, Nienaber, et al., 2006). Esta raza carece de adaptaciones fisiológicas específicas para climas cálidos, como una mayor densidad de glándulas sudoríparas o una alta eficiencia en la termorregulación cutánea, lo que puede limitar su capacidad de disipar el calor y aumentar el riesgo de alteraciones fisiológicas y metabólicas bajo estrés térmico (Dowling, 1955). Por ello, resulta pertinente **evaluar de manera sistemática las respuestas fisiológicas de Charolais frente al estrés calórico durante el verano**, incluyendo variables como **temperatura corporal, frecuencia respiratoria, consumo de alimento y comportamiento térmico**, con el fin de comprender cómo los factores ambientales afectan su desempeño productivo y bienestar. Estudios realizados en Cuba y otras regiones tropicales han evidenciado que, mediante **selección genética y manejo nutricional adecuado**, el ganado Charolais puede mejorar su eficiencia termorreguladora y adaptarse mejor a condiciones cálidas, reduciendo el impacto negativo del calor sobre el crecimiento, la reproducción y la eficiencia productiva (Batista Taborda et al., 2018). En nuestro país, la raza tuvo una presencia significativa en el rodeo nacional desde su introducción a mediados del siglo XX, aunque su uso disminuyó principalmente asociado a su gran tamaño, elevados requerimientos nutricionales y la incidencia de distocia en hembras. Sin embargo, desde la Asociación de Criadores de la raza (comunicación personal, 2025), ha resurgido el interés en reintroducirla en sistemas de cría y recría, especialmente en programas de cruzamiento terminal, aprovechando su elevado potencial de crecimiento, eficiencia de conversión y rendimiento carnicero.

Por lo tanto, resulta pertinente evaluar las respuestas fisiológicas de la raza Charolais frente al estrés calórico durante el verano, con el fin de comprender cómo los distintos factores, tanto ambientales como propios del animal afectan su desempeño productivo.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general:

Evaluar las respuestas fisiológicas al estrés térmico, mediante la medición de temperatura rectal (TR), temperatura corporal superficial (en frente y flanco) y frecuencia respiratoria (FR) en bovinos de raza Charolais de diferentes categorías etarias, durante el verano en el litoral norte de Uruguay, con el propósito de generar información que contribuya a optimizar la eficiencia productiva y a fundamentar estrategias de manejo orientadas a mitigar los efectos del estrés calórico en esta raza.

2.2 Objetivos específicos:

Cuantificar la variación de los parámetros fisiológicos (TR, temperatura corporal superficial en frente y flanco y FR) en vacunos Charolais bajo condiciones de estrés térmico estival, considerando las diferentes categorías (terneros, vaquillonas, vacas y toro y torito).

Analizar la relación entre los parámetros fisiológicos y las condiciones ambientales (temperatura ambiente, humedad relativa bajo el índice THI – Temperature Humidity Index ajustado por velocidad del viento y radiación solar) durante el período de evaluación.

Evaluar las diferencias entre categorías etarias en cuanto a tolerancia térmica y capacidad de termorregulación.

3 Revisión bibliográfica

3.1 Caracterización de la raza

La raza Charolais pertenece a la subespecie *Bos taurus* y se clasifica dentro de las denominadas razas continentales, las cuales se caracterizan por un mayor desarrollo corporal, una elevada relación músculo:grasa y un mayor peso de la canal en comparación con las razas británicas, estas últimas de mayor predominio en el rodeo nacional (Bianchi & Caprioli, 1995). Se origina alrededor del siglo XVIII en la región de Charolles, en Francia. Los primeros registros datan de alrededor de 1770, cuando los agricultores locales comenzaron a seleccionar animales por su tamaño, fuerza y capacidad de trabajo. Inicialmente, la raza se utilizaba como animal de tiro en tareas agrícolas, y más tarde, por su excelente desarrollo muscular, fue orientada hacia la producción de carne. A mediados del siglo XIX, la raza fue oficialmente reconocida y se creó el herd book Charolais en 1882, consolidando su selección y difusión en Francia. En el siglo XX, especialmente después de la Segunda Guerra Mundial, la Charolais se expandió internacionalmente, introduciéndose en América Latina, Norteamérica y Oceanía. En Uruguay, la raza se introdujo en la década de 1960, principalmente desde Francia y Argentina, destacándose en programas de cruzamiento por su alto rendimiento carnicero, eficiencia de conversión alimenticia y excelente crecimiento postdestete (Bianchi & Caprioli, 1995).

Desde el punto de vista morfológico, los animales presentan pelaje blanco o crema claro, cabeza pequeña y corta, cuello corto y musculoso, pecho profundo, lomo ancho y horizontal, miembros cortos y fuertes, y piel de espesor medio, elástica y suelta (ARU, 1972, como se cita en Bianchi & Caprioli, 1995). Estas características fenotípicas, si bien contribuyen a un elevado rendimiento cárnico, podrían influir negativamente en la capacidad de disipación de calor, aspecto relevante para evaluar su respuesta al estrés térmico.

3.2 Estrés calórico en ganado bovino

3.2.1 Definición y factores climáticos desencadenantes

El estrés calórico se define como el conjunto de condiciones ambientales que superan la capacidad del animal para mantener su equilibrio térmico, generando respuestas fisiológicas y conductuales orientadas a restablecer la homeostasis (Roca Cedeño, 2011). Entre los principales factores climáticos que inducen estrés térmico en bovinos se destacan la temperatura ambiente, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento, los cuales, en conjunto, alteran el balance térmico del animal (Arias et al., 2008).

Los rumiantes son organismos homeotermos, por lo que mantienen una temperatura corporal constante dentro de una zona termoneutral. Dentro de este rango, no requieren un gasto energético adicional para la termorregulación (Herrera Costabel, 2020). En esta zona termoneutral el animal puede estar sin necesidad de activar sus

mecanismos de autorregulación térmica, en la cual el costo fisiológico y la tasa de producción de calor se mantienen en niveles mínimos, mientras que la productividad es máxima (Finch, 1986; Hansen, 2004).

Sin embargo, cuando las condiciones ambientales superan los límites de esta zona —producto de la combinación de altas temperaturas, humedad relativa, radiación solar y baja velocidad del viento—, la temperatura corporal del animal tiende a incrementarse (González-Rivas et al., 2020). Según Herrera Costabel (2020), en el caso de las razas británicas y continentales, en términos generales los rangos de confort térmico se sitúan entre los 15 a 25°C, aunque puede haber diferencias entre razas, edad, estado fisiológico, sexo y variaciones individuales de los animales. Cabe destacar que la temperatura efectiva percibida por el animal depende también de factores como la velocidad del viento y la humedad relativa, lo que justifica el uso del índice de temperatura-humedad (ITH) para evaluar con mayor precisión el estrés calórico.

El efecto de estos componentes ambientales actuando sobre el animal se puede observar de forma directa, a través de los cambios en los mecanismos fisiológicos para mantener la homeostasis, y de forma indirecta, a través de una caída en la calidad de forraje y por ende una menor digestibilidad y energía disponible para el animal (Cruz & Saravia, 2008).

3.2.2 Factores del animal predisponentes al estrés térmico

Si bien los factores climáticos son los principales desencadenantes del estrés térmico en los animales, también existen factores genéticos, sanitarios y de manejo que los vuelven más o menos vulnerables.

Brown-Brandl, Eigenberg, et al. (2006) realizaron un estudio en donde evaluaron los factores de riesgo al estrés térmico, y concluyeron que la raza, el estado físico, el historial de salud (antecedentes de neumonía) y el temperamento influyen tanto en la frecuencia respiratoria como en el jadeo, los dos parámetros utilizados para medir el estrés por calor.

La subespecie y la raza son los principales factores del animal que afectan directamente sobre el estrés térmico. En las subespecies de interés, el ganado *Bos indicus* es generalmente menos susceptible al riesgo de estrés calórico que el ganado *Bos taurus* (británico y continental). La mejor adaptación de *Bos indicus* a condiciones de estrés calórico se debe a una mayor capacidad de eliminar calor (Hansen, 2004). Específicamente se puede atribuir a una menor resistencia de los tejidos a transferir calor metabólico hacia la superficie de la piel, a una mayor resistencia del cuero a la radiación solar y a una mayor habilidad para incrementar y mantener pérdidas evaporativas de calor a través de la piel, entre otros factores (Finch, 1986).

El color de pelaje de las distintas razas es también otro factor que influye en la absorción de radiación solar. En este sentido, Brown-Brandl, Eigenberg, et al. (2006)

encontraron que aquellas razas de color de cuero oscuro son más susceptibles, expresado a través de una mayor frecuencia respiratoria y jadeo, en comparación con aquellos animales de color de cuero claro. Por ejemplo, Hungerford et al. (2000) concluyeron que el ganado negro tenía 5,7 veces más probabilidades de morir por estrés térmico que el ganado de otros colores.

Por otra parte, una mayor condición corporal puede actuar como barrera dificultando la disipación de calor, generando un mayor aislamiento térmico. El ganado con puntuaciones de condición corporal más altas tiende a tener una frecuencia respiratoria más elevada bajo una alta carga térmica, debido a que la cobertura de grasa afecta negativamente la disipación de calor (Brown-Brandl, Eigenberg, et al., 2006).

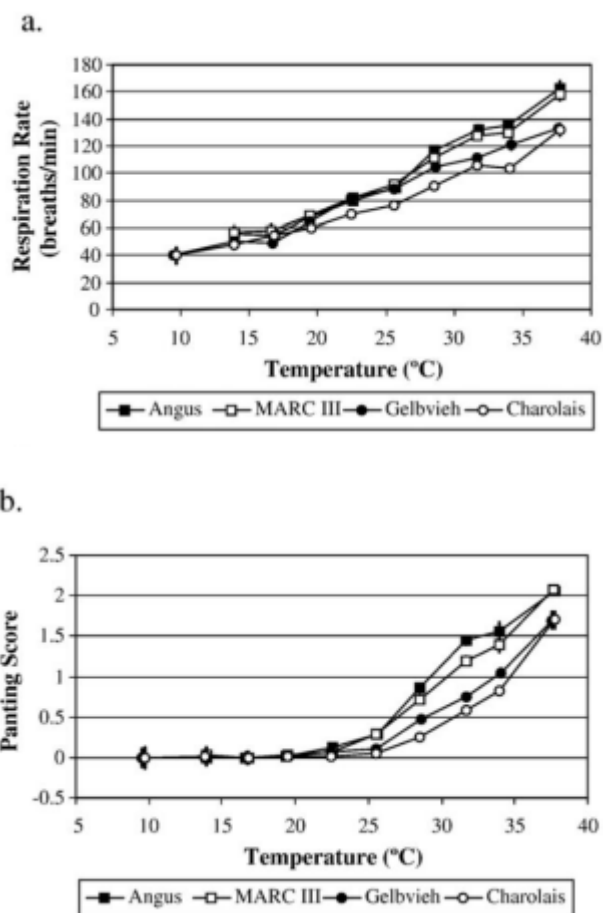
En este sentido el ganado de mayor peso vivo suele ser más susceptible al estrés calórico. Las categorías animales más pesadas o adultas (como las vacas) presentan una menor área de superficie corporal por kilogramo de peso vivo que las categorías más jóvenes o livianas (como los terneros), lo que limita la pérdida de calor debido a la menor superficie disponible para la disipación del calor (McDaniel & Roark, 1956).

Por último, el historial sanitario, en particular los antecedentes de neumonía pueden limitar la capacidad de termorregulación del animal, y junto con este, el temperamento también influye en el estrés térmico ya que cuando un animal se muestra más temperamental, hay un aumento más pronunciado de la frecuencia respiratoria o del comportamiento de jadeo (Brown-Brandl, Eigenberg, et al., 2006)

En la figura 1 se observan los resultados obtenidos por Brown-Brandl, Eigenberg, et al. (2006) donde se representa la temperatura ambiental en el eje horizontal y la frecuencia respiratoria en el eje vertical. Se observa una relación directa y positiva entre ambas variables: a medida que aumenta la temperatura, incrementa la frecuencia respiratoria. Sin embargo, partir de los 20 °C, la frecuencia respiratoria de los animales Charolais (figura 1.a) fue significativamente menor en comparación con las demás razas evaluadas. El comportamiento de jadeo (figura 1.b) mostró una tendencia similar: a partir de los 25°C la raza Charolais obtuvo un menor puntaje que el resto de las razas en esta variable de medida. Estos resultados permiten concluir que la raza Charolais presenta una mayor tolerancia al estrés térmico en comparación con las razas analizadas en este estudio.

Figura 1

FR (resp/min) a medida que aumenta la temperatura ambiente (C°) (a); puntaje de jadeo a medida que aumenta la temperatura (C°) (b)



Nota. Tomado de Brown-Brandl, Eigenberg, et al. (2006).

En otro estudio llevado a cabo por Foster et al. (2009) se analizó el impacto del estrés térmico en seis razas de ganado: Afrikaner, Bonsmara, Braford, Charolais, Drakensberger y Simmental. El objetivo fue evaluar cómo las características morfológicas como el grosor de la piel y el largo del pelaje influyen en la respuesta fisiológica al calor, mediante indicadores como la FR y la TR.

Los resultados muestran que la raza Charolais presentó el menor grosor de piel entre las razas evaluadas y, junto con la raza Simmental, obtuvo los valores más altos en largo de pelaje.

En la tabla 1 del anexo extraída del estudio de Foster et al. (2009), se presentan los valores de temperatura rectal promedio registrados durante el verano, calculados a partir de mediciones diarias en 10 animales por raza durante 17 días. Se puede observar que la raza Charolais registró las temperaturas rectales más elevadas, lo que indica una menor capacidad para tolerar el calor en comparación con las otras razas evaluadas.

El resultado obtenido por los autores permite interpretar que, si bien el pelaje blanco de la raza Charolais representa una ventaja al reflejar gran parte de la radiación solar, su piel más delgada puede permitir una mayor entrada de calor hacia los tejidos internos. Además, el pelaje más largo puede dificultar la disipación del calor corporal en condiciones de calor extremo. En conjunto, estas características no parecen favorecer su adaptación al estrés calórico. Sin embargo, es importante recalcar que la menor tolerancia al estrés térmico observada en el Charolais se evaluó en comparación con razas que están más adaptadas a climas cálidos, lo cual puede influir significativamente en los resultados.

En cambio, existen otros reportes de literatura internacional en que existe correlaciones negativas del espesor cutáneo con el estrés térmico, indicando que animales con pliegues más delgados disipan mejor el calor, mientras que un exceso de grasa incrementa la susceptibilidad al estrés calórico (Alfonzo et al., 2016; Bonsma, 1996).

3.2.3 Efectos en el comportamiento

La primera respuesta en el comportamiento bovino que ocurre frente al estrés térmico es un aumento de la FR, seguido del aumento en la temperatura corporal. El aumento de la FR mejora la ventilación de las vías por las que pasa el aire, lo que favorece la evaporación de esas superficies húmedas entre las que figuran, lengua, boca y vías nasales; permitiendo así enfriar la sangre que circula por esas zonas (Salvador, 2007). Asimismo, Zhou et al. (2023) concluyeron que el aumento de la pérdida de calor evaporativo en las vacas se debió principalmente al aumento en la evaporación de la piel.

Si el estrés calórico continúa, el animal entra en una fase aguda caracterizada por un jadeo intenso y sudoración máxima (Rovira, 2012). La severidad del estrés térmico puede evaluarse visualmente mediante escalas de jadeo, las cuales están ordenadas de menor a mayor impacto (*Wetting cattle to alleviate*, 2004). La puntuación media de jadeo aumenta significativamente a medida que se incrementa la carga térmica.

Además del aumento en la FR y la temperatura corporal, el ganado inicia cambios conductuales intencionados en respuesta al aumento del estrés calórico, procurando zonas con sombra, incluyendo la sombra proporcionada por otros animales para reducir su carga calórica (Blackshaw & Blackshaw, 1994). La búsqueda de sombra es una estrategia adaptativa del animal para mitigar el estrés, ya que protege al animal de la radiación solar, principal factor determinante de los intercambios de calor cuando el animal está expuesto a ella (La Manna et al., 2014).

También realizan cambios en la postura, donde el ganado tiende a permanecer de pie con mayor frecuencia, lo cual permite una mayor exposición de la superficie corporal al aire, favoreciendo así la disipación de calor (Lees et al., 2020). Además, esta postura reduce la acumulación de calor conductivo desde la superficie del suelo o corral.

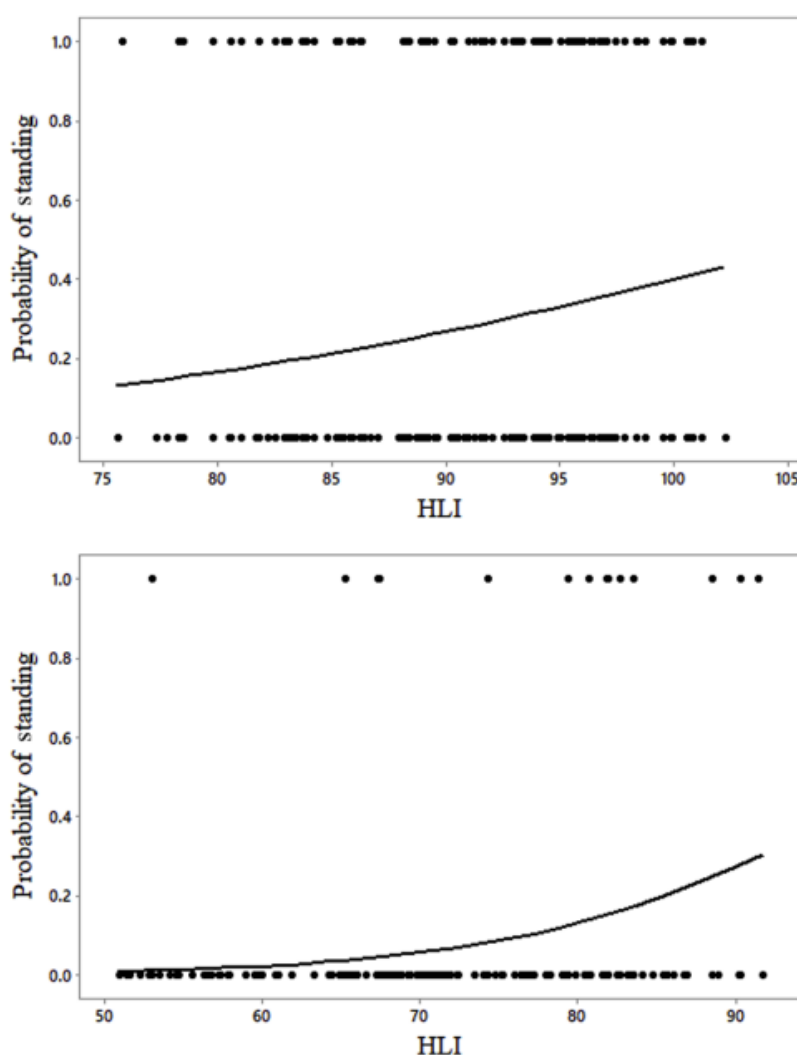
El HLI es un índice que integra temperatura, humedad, viento y radiación para estimar la carga calórica real sobre el animal (Gaughan et al., 2008). En la práctica, su

comportamiento es muy parecido al del ITHaj empleado en este estudio, ya que ambos capturan los efectos combinados de las condiciones ambientales que más afectan la disipación de calor. Por eso, un HLI alto refleja un escenario térmico similar a un ITHaj elevado, donde los animales comienzan a mostrar respuestas de ajuste, como un mayor tiempo parado.

Mufford et al. (2022) establecieron que existe una tendencia positiva (figura 2), donde a medida que aumenta HLI, hay una mayor probabilidad de que estos permanezcan de pie, tanto para animales de corral (figura arriba) como en pastura (figura abajo).

Figura 2

Probabilidad de que el ganado esté de pie en función del HLI



Nota. Tomado de Mufford et al. (2022).

Otra expresión de comportamiento como estrategia de afrontamiento al estrés calórico consiste en disminuir la producción de calor metabólico al reducir el consumo voluntario de materia seca, lo que afecta negativamente en la productividad animal.

(Mitlöhner et al., 2001). Esta reducción en el consumo de alimento hace reducir el calor generado por la fermentación ruminal y la digestión, pero afecta negativamente la productividad animal, resultando en una menor ganancia de peso vivo y por ende menor producción. Como consecuencia de la necesidad de reducir el calor interno, los bovinos cambian sus hábitos alimenticios, tendiendo a pastorear en horas de la noche o en las horas más frescas del día (Salvador, 2007).

3.2.4 Efectos del estrés térmico sobre la reproducción bovina

En los sistemas de cría vacuna, el reinicio de la actividad reproductiva posparto constituye un factor determinante en la eficiencia del rodeo. Considerando que la aparición del primer celo ocurre generalmente entre los 45 y 60 días posteriores al parto, y que la mayor concentración de partos en nuestros sistemas de cría se produce en primavera, es de esperar que el retorno al celo coincida con el incremento de las temperaturas ambientales de noviembre-diciembre. Esta superposición entre el reinicio reproductivo y el aumento del estrés térmico constituye una limitante fisiológica y por ende productiva, ya que el rodeo debe afrontar no solamente las demandas energéticas de lactación, sino que también los mecanismos de termorregulación, afectando así la eficiencia reproductiva (Herrera Costabel, 2020).

El estrés calórico deprime la productividad y la eficiencia reproductiva, obligando al animal a desviar energía hacia mecanismos de disipación de calor, lo que resulta en una disminución de la energía destinada a los procesos reproductivos (Cruz & Saravia, 2008). La función reproductiva se compromete, a expensas de mantener la homeostasis de las funciones corporales. Esto genera que la función reproductiva esté determinada en gran medida por el ambiente (Yabuta & Kunio, 2000, como se cita en Roca Cedeño, 2011).

En este sentido Chemineau (1992) determinó que la temperatura afecta notablemente la reproducción en vacas, pudiendo bajar de 75 a 100% la eficiencia reproductiva. A nivel fisiológico, la causa principal de esta depresión reproductiva está dada a fallas en la implantación embrionaria, debido a que, bajo condiciones de calor, la vasodilatación periférica reduce el flujo sanguíneo hacia órganos internos como el útero y los ovarios, comprometiendo la nutrición y oxigenación del embrión.

Además, frente a cualquier tipo de estrés se estimula la liberación de prostaglandinas, particularmente la $PGF_{2\alpha}$ que posee efecto luteolítico, lo que provoca un mayor cuadro de infertilidad (Dolah et al., 1990, como se cita en Roca Cedeño, 2011).

3.3 **Índice de Temperatura y Humedad (ITH)**

3.3.1 Qué es, cómo se calcula y cómo se interpreta

El índice de temperatura y humedad (ITH) es un indicador climático ampliamente utilizado en ganadería con la función esencial de señalar la falta de confort térmico en

bovinos y ser empleado para el seguimiento de las condiciones ambientales que resultan estresantes para el ganado (Gastaldi et al., 2022).

Este índice integra temperatura ambiental y humedad relativa, y se considera que representa condiciones estresantes para el ganado bovino cuando supera los 74 puntos (Livestock Weather Safety Index, como se cita en Mader et al., 2006). Su valor es fundamental para determinar la frecuencia, duración y momentos de situaciones climáticas desfavorables que pueden limitar la productividad animal.

El índice fue desarrollado inicialmente para uso humano por Thom (1959) y luego adaptado para producción animal por diversos autores.

Para aumentar la precisión de este indicador bajo condiciones de campo, Mader et al. (2006) propusieron una fórmula ajustada del (ITH) específica para ganado de carne que incorpora otros factores ambientales, como la velocidad del viento y la radiación solar que también inciden sobre la carga térmica que experimenta un animal en su entorno. Davis y Mader (2003) reportaron que el ITH debería ser reducido en 1 unidad por cada incremento de 10% en la nubosidad y/o incremento de 1,7 km/h en la velocidad del viento.

La incorporación de estos dos factores ha mostrado un mejor ajuste con indicadores fisiológicos de estrés en el animal, como la frecuencia respiratoria y la temperatura rectal (da Silva et al., 2007). A continuación, se presenta la fórmula en la que contiene estos cuatro factores:

$$\text{ITH ajustado} = 6,8 + \text{ITH} - (3,075 \times \text{VV}) + (0,0114 \times \text{RAD})$$

Dónde: VV la velocidad media diaria del viento a 2 metros de altura (m/s), y RAD la radiación solar diaria (W/m²).

Valores más elevados del ITH ajustado reflejan una mayor carga térmica, y, por tanto, un riesgo más alto de estrés calórico en el ganado.

3.3.2 Niveles de riesgo térmico según el ITH

Los niveles de riesgo asociados al ITH pueden variar según la fórmula empleada y el biotipo animal considerando por ejemplo razas taurinas vs. cebuinas. La escala utilizada es a partir de la fórmula ajustada de Mader et al. (2006) que también es utilizada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA, s.f.) para la previsión de estrés calórico:

Tabla 1*Rangos de valores de ITHaj y cómo interpretarlos*

| Valor del ITH | Riesgos de estrés térmico |
|---------------|---------------------------|
| Hasta 68,9 | Sin riesgo |
| 69-74,9 | Alerta |
| 75-78,9 | Peligro |
| ≥ 79 | Emergencia |

Nota. Adaptado de INIA (s.f.).

Es importante destacar que este índice sólo considera factores ambientales. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, variables como la raza, condición corporal, el historial de salud (antecedentes de neumonía) y el temperamento también influyen en la susceptibilidad al estrés térmico.

3.4 Estrategias de mitigación

A pesar de las consecuencias fisiológicas, comportamentales y productivas dadas por la exposición prolongada al calor, existen diversas medidas para contrarrestar el efecto negativo que este genera en los animales. Las principales medidas para mitigar el efecto del calor sobre los animales son las siguientes:

3.4.1 Sombra

El uso de sombra como una estrategia de mitigación al calor es una de las principales recomendaciones realizadas por instituciones de investigación vinculadas al sector, donde destacan la importancia de brindar sombra al ganado para mantener el rendimiento productivo y bienestar animal en condiciones de estrés calórico.

La disponibilidad de sombra para el ganado vacuno es una solución adecuada y eficaz para disminuir el estrés térmico (Mitlöhner et al., 2001) lo que permite destinar una mayor proporción de energía al mantenimiento de la homeostasis, sustentada por una menor carga térmica, a diferencia de animales sin acceso a sombra (Lees et al., 2020).

Un estudio realizado por Simeone et al. (2010) se evaluó el efecto del acceso voluntario a la sombra sobre la performance de novillos en corrales de engorde, en la cual se observó una mayor ganancia diaria en los animales con acceso a la sombra en comparación a los que no lo tuvieron, observándose un incremento en torno a los 220 g/día.

A su vez, Clariget et al. (2018) llevó a cabo una investigación en Rio Negro (Uruguay), en donde el objetivo fue cuantificar el efecto de diferentes alternativas de

mitigación del calor (sombra o aspersión) sobre el desempeño productivo de novillos (+370 kg) terminados a corral en verano. A partir de esta, los autores concluyeron que hubo un aumento en la ganancia media diaria (kg/d) del 38% cuando los animales tenían acceso a sombra.

Por su parte, Rovira (2012) evaluó el efecto de la sombra artificial en novillos sobre praderas en el verano. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 2, donde se destaca que el acceso a sombra obtuvo una ganancia diaria de peso vivo 56% mayor con respecto a los novillos sin sombra en el período 19/12/01-18/01/02 (0,330 y 0,120 kg/a/día, respectivamente).

Tabla 2

Registros de producción animal (19/12/01-25/02/02)

| | Sin Sombra | Con Sombra | Probabilidad |
|--------------------------------|------------|------------|--------------|
| Peso inicial (kg) | 285 | 287 | ns |
| Peso final (kg) | 300 | 311 | ns |
| Ganancia de peso (kg/a/d) | | | |
| 19/12-18/01 | 0,120 | 0,330 | <0,05 |
| 18/01-25/02 | 0,218 | 0,384 | ns |
| Total | 0,231 | 0,360 | ns |
| Producción de carne (kg/ha) | 52 | 82 | |

Nota. ns: no significativo ($P > 0,05$). Tabla extraída de Rovira (2012).

3.4.2 Acceso al agua

El agua es una de las principales medidas de mitigación para contrarrestar el estrés que genera el calor. Además, es el principal nutriente y representa el 65% de la composición de un animal (La Manna et al., 2023).

Los requerimientos de agua de un animal van a depender del estado fisiológico del mismo, de su dieta y también de la temperatura ambiente. Esta última juega un papel crucial en el consumo de agua por parte de los animales. Las características físicas del agua combinadas con respuestas fisiológicas como la vasodilatación, la sudoración y el jadeo, facilitan la transferencia de calor y colaboran con la homeotermia del animal (Girauo, 2003; La Manna et al., 2023).

Según La Manna et al. (2023) existe una relación genérica entre los litros de agua consumida por kg de MS ingerido, la que varía con la temperatura desde 2-3 L/kg MS hasta 8-15 L/kg MS. Llegando a tener una vaquilla de 180 kilos un consumo de 15 a 36 litros dependiendo de la temperatura.

3.4.3 Intervenciones nutricionales

En verano, la disminución de las horas de pastoreo está asociada al estrés calórico, donde los animales priorizan la búsqueda de sombra y agua. Esto genera un gasto de energía adicional no solo por la mayor frecuencia cardíaca, sino que también por el mayor costo metabólico de digerir pasturas más fibrosas (Rosso, 2004).

Girauo (2003) clasifica dos tipos de dietas: “frías” y “calientes”, denominadas así por el calor que generan a nivel metabólico en su digestión. Las dietas “calientes” poseen una elevada proporción de fibra indigestible y un desequilibrio entre los nutrientes básicos, provocando mayor incremento calórico, menor energía neta, y baja eficiencia en la transformación. Por otro lado, las dietas “frías” se caracterizan por una mayor densidad energética, fibras de alta fermentación, menor degradabilidad de las proteínas y un alto contenido de nutrientes by-pass que "saltean" el rumen.

Tabla 3
Características de las dietas calientes y frías

| | Calientes | Frías |
|----------------|--|--|
| Digestibilidad | Baja | Alta |
| Fibra | Alta | Baja |
| Proteínas | Alta degradabilidad | Baja degradabilidad |
| Minerales | Bajo en Na y K | Alto en Na y K |
| Ejemplos | Pasturas pasadas Henos y silajes fibrosos Concentrado con alto afrechillo | Pasturas tiernas Silajes con alto grano Concentrado rico en aceite |

Nota. Adaptado de Girauo (2003).

Según Gayo (1998) la dieta ideal para condiciones de calor es aquella que sea rica en energía, con fibra de alta digestibilidad y proteína de menor degradabilidad a nivel del rumen.

Por otra parte, la suplementación estival permite corregir deficiencias generadas por el menor consumo, el aumento de la transpiración y las limitantes de disponibilidad forrajera. La dieta por utilizar debe estar compuesta por concentrados, en base a cereales, en combinación con minerales y proteínas cuya composición debe variar en función de la categoría a suplementar (Rosso, 2004).

De acuerdo con Rovira y Lorenzo (2024) quienes evaluaron los efectos de la suplementación estival sobre la ganancia diaria, la FR y la temperatura corporal de novillos sobre campo natural los mismos concluyeron que la suplementación energético-proteica incrementa el peso corporal y la ganancia diaria promedio de los animales sin aumentar el riesgo de estrés térmico.

Otra estrategia de mitigación para contrarrestar el estrés calórico es la restricción de pastoreo durante las horas del día con mayor ITH. Con respecto a esto Beretta et al. (2013) realizaron un ensayo donde compararon dos manejos pastoriles en el verano; pastoreo restringido con acceso a sombras (de 10 a 17) y pastoreo libre sin acceso a sombra. A partir de esto, obtuvieron que la restricción del acceso al pastoreo combinado con el acceso a sombra representó un incremento en la ganancia de peso de los novillos de $0,123 \pm 0,052$ kg/ día con relación al tratamiento de pastoreo libre.

Debido a esto que la medida de pastoreo restringido durante estos momentos que el ITH permite reducir la carga térmica del animal, evitar la disminución del consumo voluntario de materia seca y mejorar el bienestar animal.

4 Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en la cabaña “La Espiga”, en la 4ta sección policial del departamento de Paysandú a 25 km de la capital departamental. Contó con la participación de 21 animales de la raza Charolais, pertenecientes a distintas categorías productivas (vaquillonas, terneros, vacas de cría y toro), que permanecían en pastoreo sobre campo natural. A su vez se suplementan mediante utilización de comederos de autoconsumo con una dieta basada en la incorporación de grano de cebada aproximadamente al 1% del PV.

Según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (Durán, 1976) el predio está comprendido dentro de la formación Fray Bentos, específicamente sobre suelos de la Unidad San Manuel. Cabe recalcar que los animales pastorean los bajos que no se utilizan para agricultura a su vez al momento de la visitar estos campos se constató un alto grado de enmalezamiento por la presencia principalmente de *Carduus acanthoides*, o vulgarmente conocido como cardo negro, así como otras malezas de campo sucio.

Para una serie de 10 años (1990-2000) Boggiano et al. (2005) establecen que campos de bajos ubicados en Unidad San Manuel tienen una producción promedio de 6395 kg de MS/ha, esto promedio de distintos tiempos de descanso de pastoreo (20, 40, 60, 80 días). Específicamente para el periodo estival estos autores relevan producciones que van de 1462 kg MS/ha (20 días) a 2449 kg MS/ha (80 días). A su vez para el periodo (1998-2001) los relevamientos por posición topográfica indican que los bajos lograron producir 3618 kg MS/ha totales, con producciones estivales que llegaron a 1080 y 501 kg MS (variabilidad explicada por seca de 1999-2000 según autores).

Las mediciones fueron realizadas durante los meses de diciembre de 2024 y enero de 2025. Los registros se efectuaron el 20 de diciembre a las 14:00 h, y los días 15, 16 y 17 de enero a las 07:00 h y 14:00 h. No obstante, al generar el índice de temperatura y humedad ajustado por velocidad del viento y radiación solar (ITHaj), los valores se agruparon en tres días (D1, D2 y D3) con sus respectivos turnos (am y pm), dado que el valor del ITHaj correspondiente al 20 de diciembre (pm) coincidía con el registrado el 16 de enero (pm). La elección de estos horarios se basa en la necesidad de capturar los momentos claves del ciclo térmico del animal. A las 07:00 hs se registra el estado del ganado tras el período nocturno, donde se produce la recuperación térmica debido a la disipación del calor acumulado durante la jornada anterior. Por otro lado, las 14:00hs corresponden al momento de mayor temperatura ambiental, y por ende de ITH. Esto se detalla en la tabla 7 de resultados, donde se muestran los horarios analizados.

En total, cada animal fue evaluado en 7 oportunidades, obteniendo así 7 registros por variable por animal. Las variables medidas fueron: peso vivo (PV) en kg, la FR (respiraciones/min), TR (°C), así como la temperatura corporal superficial de frente y flanco (°C).

Tabla 4
Línea de tiempo y mediciones realizadas

| 20/12 | 15/01 | 16/01 | 17/01 |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Temperatura rectal | Temperatura rectal | Temperatura rectal | Temperatura rectal |
| Frecuencia respiratoria | Frecuencia respiratoria | Frecuencia respiratoria | Frecuencia respiratoria |
| | Temperatura corporal | Temperatura corporal | Temperatura corporal |
| Peso vivo | Peso vivo | | |

Para el registro de la FR se determinó mediante observación visual el número de movimientos del flanco durante un minuto. La TR fue medida con un termómetro digital, el cual se insertó en el recto del animal durante un minuto. La temperatura corporal fue registrada utilizando un termómetro digital infrarrojo, apuntando a dos regiones corporales: flanco y frente del animal. Se registró el peso vivo de cada animal el 20 de diciembre y el 15 de enero con una balanza eléctrica del establecimiento de precisión 0.05 kg.

Para el cálculo de ITH se tomaron datos de temperatura del aire (°C) y humedad relativa (%) y posteriormente para el ITHaj se incorporaron datos de velocidad del viento (m/s) y radiación solar (W/m²), extraídos de la estación meteorológica automática de INIA Glencoe. El cálculo del ITHaj se realizó a partir de la fórmula de Mader et al. (2006) que se detalla a continuación:

$$\text{ITHaj} = [4,51 + \text{ITH} - (1,992 \times \text{VV}) + (0,0079 \times \text{RAD})].$$

Dónde: ITHaj = Índice de temperatura y humedad ajustado por viento y radiación solar. ITH = Índice de temperatura y humedad ($\text{ITH} = 0,8 \times \text{Taire} + \text{HR} \times (\text{Taire} - 14,4) + 46,4$). VV = Velocidad del viento m/s. RAD = Radiación solar en kcal/m²/h.

Tabla 5

Datos climatológicos e índices de estrés térmico para las fechas donde se realizaron mediciones

| | Humedad relativa (HR%) | Temperat ura media (°C) | Radiación solar (xHelio)ca l/cmÂ² | Velocida d del viento (m/s) | ITH (Thom) | ITH ajustado (Mader et al 2006) |
|-------------------|------------------------------|-------------------------------|--|--------------------------------------|---------------|--|
| 20/12 *pm | 77 | 24,5 | 721,1 | 2,96 | 73,8 | 79,7 |
| 15/01 *am y pm | 57 | 27,8 | 728,4 | 1,22 | 76,35 | 87,7 |
| 16/01 *am y pm | 62 | 28,6 | 644,7 | 1,82 | 78,15 | 86,7 |
| 17/01 *am y pm | 60 | 28,3 | 683,5 | 2,15 | 77,45 | 85,4 |

Nota. Elaborado a partir de datos de Estación Meteorológica Automática de INIA (s.f.).

Para obtener la edad en meses se restó la fecha de cada medición a la fecha de nacimiento de cada individuo, la cual fue previamente proporcionada por el productor

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) con las variables ITHaj, TR y FR, donde se utilizó la función *prcomp()* de R y el paquete *factoextra* para la visualización. En el biplot resultante se agregaron elipses por cada categoría con el fin de visualizar la relación entre las variables y la agrupación de animales según categoría o respuesta fisiológica.

Posteriormente se hizo un análisis estadístico usando el paquete lme4 en R (v. 4.4.0), para evaluar las respuestas fisiológicas sobre el estrés térmico. Por cada variable a analizar se ajustaron dos modelos lineales mixtos: en el primero se consideraron como efectos fijos el ITHaj, la edad (en meses) y el peso vivo; en el segundo modelo se incorporó la categoría animal. A su vez como efectos aleatorios se consideraron el ID del animal y el día de medición, con el objetivo de contemplar la variabilidad que generan estas dos últimas variables. La fórmula general utilizada fue:

$$\text{TR (o FR)} \sim \text{ITHaj} + \text{EdadM} + \text{PV} + \text{Categoría} + (1 \mid \text{ID}) + (1 \mid \text{Día})$$

Por último, se empleó el paquete EMMeans en R para estimar las medias marginales ajustadas por categoría animal, donde se corrigieron los efectos de ITHaj, edad y peso vivo. Esto permitió comparar categorías en igualdad de condiciones. A partir de estos ajustes se realizaron comparaciones múltiples por prueba de Tukey, tanto para temperatura rectal como para frecuencia respiratoria.

5 Resultados y discusión

Durante el período comprendido entre noviembre 2024 y febrero 2025, el índice de temperatura y humedad ajustado presentó un valor promedio de 79,3, correspondiente a la categoría de emergencia según la escala de INIA, con un desvío estándar de 5,8. Durante este período el rodeo se mantuvo mayoritariamente en condiciones de emergencia (49 días) y peligro (27 días), mientras que en 12 jornadas registró estado de alerta y solamente en 4 días estuvo en confort térmico.

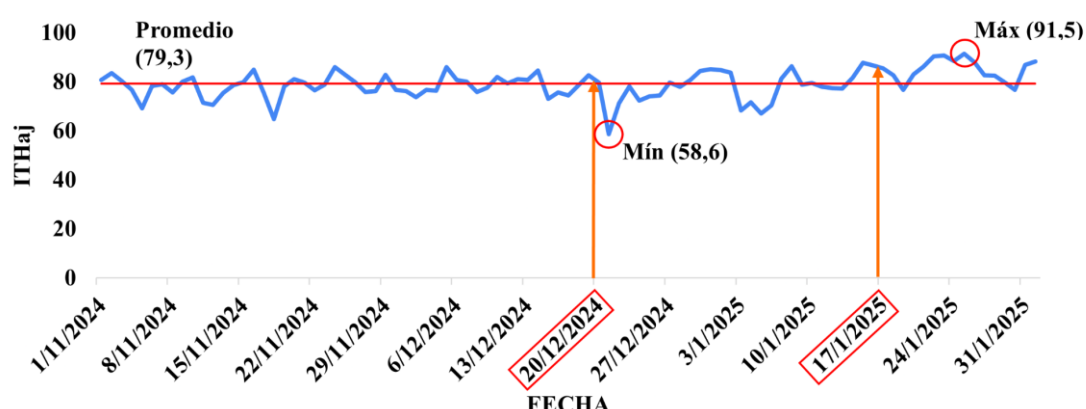
Esto se refleja en la figura 3, donde se observa que los valores de ITH ajustado estuvieron en su mayoría por encima del nivel de alerta (≥ 69), alcanzando a mediados de enero condiciones de “emergencia” (≥ 79), lo que indica que el rodeo estuvo durante gran parte del período de enero en condiciones de estrés calórico. Por otra parte, el valor mínimo de ITH ajustado se registró el 20 de diciembre, mientras que el valor máximo se alcanzó a fines de enero.

En relación con la ocurrencia de olas de calor, se utilizó como criterio la presencia de al menos tres días consecutivos con temperaturas mínimas entre 21 y 22 °C y máximas de 34 a 35 °C (**ola leve**); entre 23 y 24 °C de mínima y 36 a 38 °C de máxima (**ola moderada a severa**); o **extremas** de 25 °C de mínima y 39 a 41 °C de máxima (Saravia & De Souza, 2023). Considerando estos criterios, se constató que no hubo ningún evento de ola de calor durante el período analizado.

Contrariamente, el análisis de Saravia y de Souza (2023) si identificó numerosas olas de calor en los 52 años analizados, específicamente en la localidad de Paysandú se identificaron 40 olas de calor severas y 112 olas de calor leve.

Figura 3

ITH ajustado diario desde 1/11/2024 al 1/2/2025



Al observar el ITHaj por horario, a las 07:00 hs los valores estuvieron por debajo de emergencia, incluso en los días 15 y 16 de enero mostraron condiciones sin riesgo de

estrés térmico. A su vez dentro del ITHaj horario existe una gran variabilidad durante el día, como se observa en el día 16/01 donde los valores de ITHaj llegan a 90.

En el caso de ITH clásico (Thom) se observa que los valores se mantuvieron dentro del rango de alerta y particularmente el 16 de enero se registró una situación de peligro. Esto coincide con lo reportado por Cruz y Saravia (2008) quienes al analizar un promedio de 30 años (1960-1990), encontraron que los valores promedios más altos para ITH son en enero. A su vez, estas autoras observaron que las localidades del país que superaron el valor crítico ($ITH > 72$) durante el mes de enero se encontraban al norte del río Negro y que en febrero la zona problemática se desplaza aún más al norte. Para las localidades como Paysandú, determinaron que la probabilidad de que el ITH supere el valor es del 65%.

Tabla 6

ITH clásico y ajustado con valores promedios diarios y horarios para cada día de evaluación

| | 20/12 | 15/01 | 16/01 | 17/01 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| ITH clásico (Thom) | 73,8 | 76,3 | 78,1 | 77,4 |
| ITH aj Promedio | 79,7 | 87,7 | 86,7 | 85,4 |
| ITH aj horario 07:00 | - | 47,7 | 66,8 | 73,0 |
| ITH aj horario 14:00 | - | 78,5 | 90 | 85,0 |

Dado que en el período en análisis el ITH mostró valores elevados, se procedió a analizar el efecto de este, así como el efecto de otros factores, como el PV, la categoría y la edad en meses de cada animal (EdadM), sobre las variables fisiológicas temperatura frente y flanco (TFr y TFl), TR y FR, con el objetivo de identificar cómo estas condiciones ambientales y características individuales pueden influir en la respuesta fisiológica de los animales.

El análisis de correlaciones mostró asociaciones positivas entre el ITHaj, TFr, TFl, TR y la FR, con valores de $r=0,79$, $r=0,79$, $r=0,43$, y $r=0,61$ respectivamente. Estos resultados indican que, a medida que aumenta el ITHaj, también se incrementa la temperatura superficial, la TR y la FR. Estas moderadas relaciones en las variables FR y

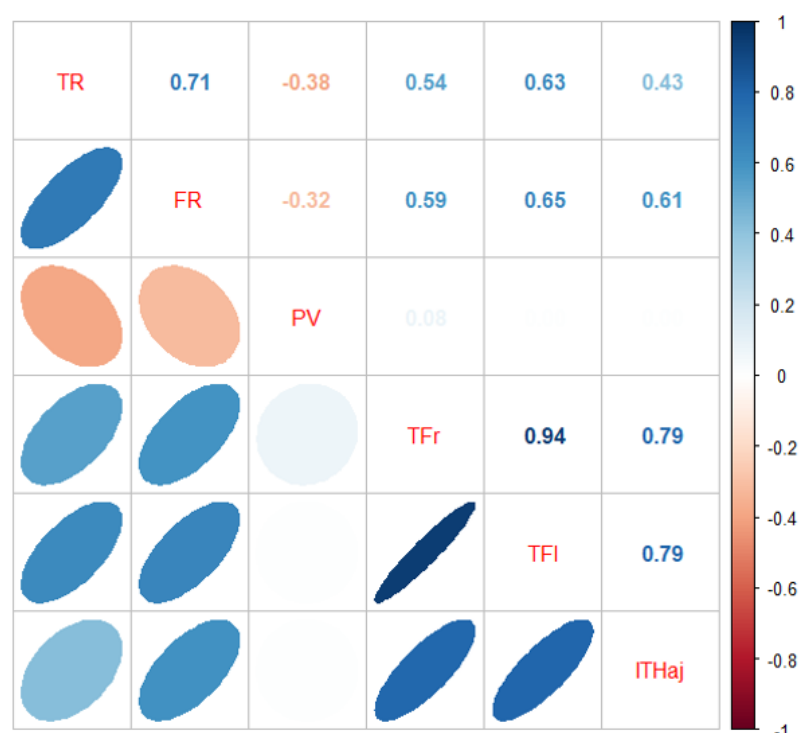
TR sugieren que hay otros factores individuales de cada animal (como el peso vivo o la resiliencia fisiológica) que también influyen en las variables fisiológicas en estudio.

Se observa también que la Tfr y Tfl mostraron una mayor correlación frente al ITHaj ($r=0,79$), lo que sugiere que la temperatura superficial es un indicador más sensible y de respuesta más rápida frente a cambios en la temperatura y humedad.

Además, se observa una correlación negativa entre el PV, la TR y FR, indicando que animales de mayor peso corporal tienden a mantener TR y FR más bajas.

Figura 4

Correlaciones entre ITHaj y comportamientos



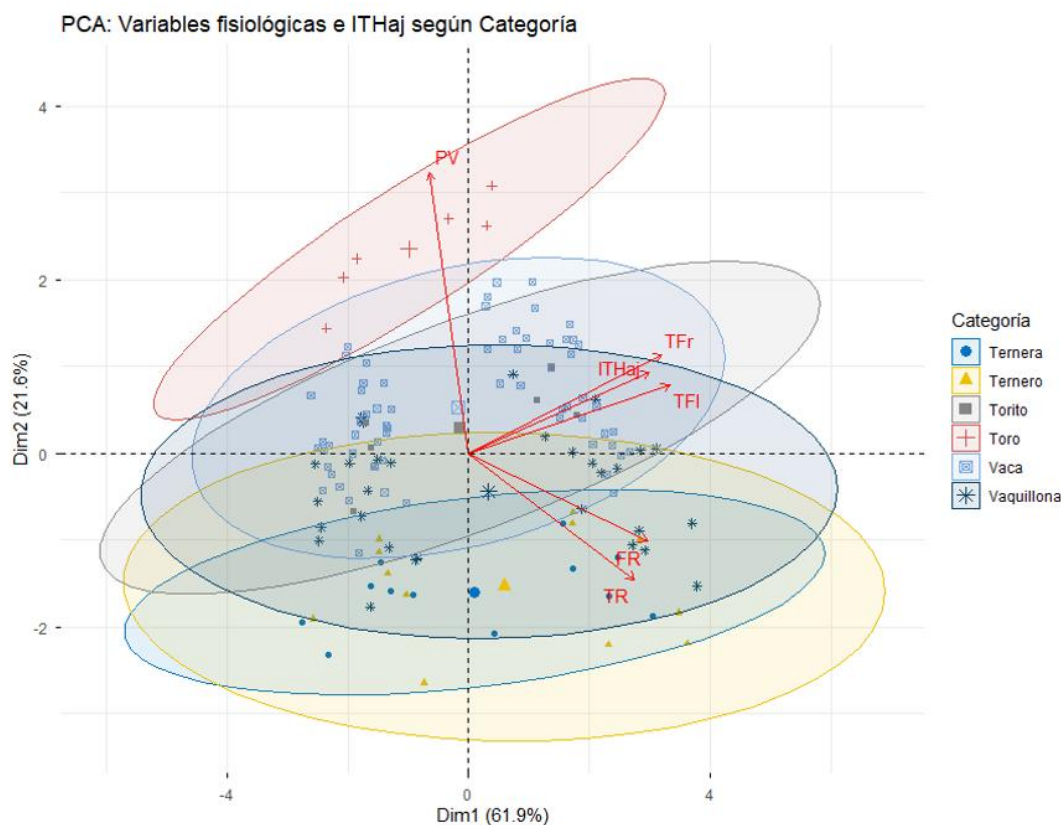
El PCA (figura 5) reveló una fuerte asociación positiva entre el ITHaj, y las variables fisiológicas TR, FR y TFr y TFl, lo cual indica una respuesta fisiológica consistente al estrés térmico. Por su parte, los toros se ubicaron predominantemente en el cuadrante de mayor carga térmica (alta TR y FR), sugiriendo una mayor susceptibilidad al calor. En cambio, los animales jóvenes (terneros/as y torito) presentaron una distribución más dispersa, lo cual podría indicar una mayor capacidad de termorregulación. Este enfoque multivariado permite visualizar diferencias fisiológicas entre categorías animales y orientar estrategias de manejo frente al estrés calórico.

Además, el biplot (figura 5) explica el 83,5% de la varianza, lo que demuestra la alta relación que hay entre los componentes en estudio. El ITHaj estuvo principalmente asociado con el eje horizontal (Dim1), mientras que el eje vertical reflejó las diferencias individuales entre animales. La orientación en la misma dirección de TR, TFr, TFl y FR indican una correlación positiva entre estas variables y afirma que las mismas responden

de igual manera frente al aumento de ITHaj, reforzando la idea de una respuesta fisiológica conjunta al calor ambiental.

Figura 5

Análisis de componentes principales (PCA) -biplot



El análisis de las variables fisiológicas en función del ITHaj mostró que la TR, TFr y TFI y la FR se ven fuertemente influenciadas por los cambios en la temperatura y la humedad. El ITHaj tiene un efecto muy significativo ($p < 0.0001$) sobre TR, con un coeficiente positivo de 0.0284. Es decir que, por cada unidad que aumenta el ITHaj, la TR aumenta en promedio 0.028 °C, indicando que el estrés térmico eleva la temperatura rectal en los animales.

Esto coincide con lo evidenciado por diversos autores (Brown-Brandl et al., 2005; Hahn et al., 1990) quienes confirman que, al aumentar la temperatura del aire, se incrementa la temperatura corporal, evidenciándose en la temperatura superficial, rectal y aumento en la FR para disipar rápidamente el calor interno.

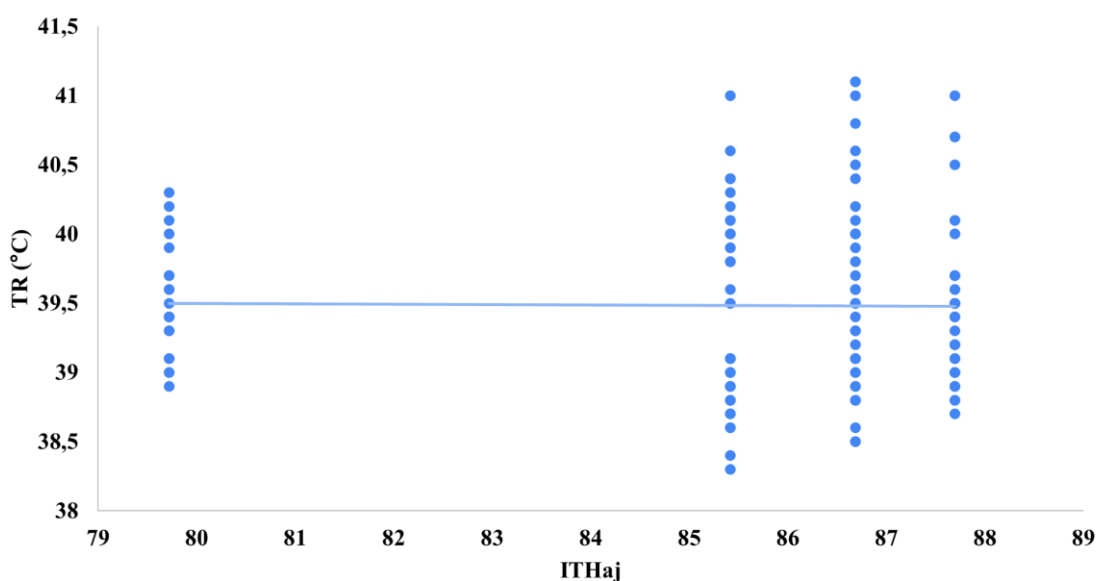
Asimismo, Alzina-López et al. (2001) describen que los límites fisiológicos de TR en bovinos oscilan entre los 38 a 39,5 °C. Sin embargo, en la figura 6 se puede observar que bajo condiciones de valores altos de ITHaj, los valores registrados de TR

para ganado Charolais superan con frecuencia dicho rango, reflejando las dificultades que presentaban los animales para mantener la homeostasis interna.

Por otro lado, al comparar estos resultados con los reportados por Días López Frola y Hernández Leal (2024), se observa que, para valores de ITH cercanos a 76, el ganado Charolais presentó TR similares a las registradas en todas las razas en estudio (39,5 °C), bajo las mismas condiciones de ITH. Cabe aclarar que los autores utilizaron únicamente ITH y no ajustado por velocidad del viento y radiación, a su vez estos resultados fueron obtenidos en terneros.

Figura 6

Efecto del ITHaj sobre la TR de los datos observados



En relación con la FR, el principal predictor también es el ITHaj, que hace aumentar la frecuencia respiratoria considerablemente. Por cada unidad que aumenta el ITHaj, la FR aumenta en promedio 1,17 respiraciones por minuto.

Las figuras 6, 7, 8 y 9 muestran un incremento lineal de TFr, TFl, TR y FR conforme aumenta el ITH ajustado, lo que confirma una respuesta fisiológica proporcional a la carga térmica. Esto demuestra que aun en animales de biotipo continental, los mecanismos fisiológicos de compensación se activan marcadamente bajo condiciones de estrés térmico.

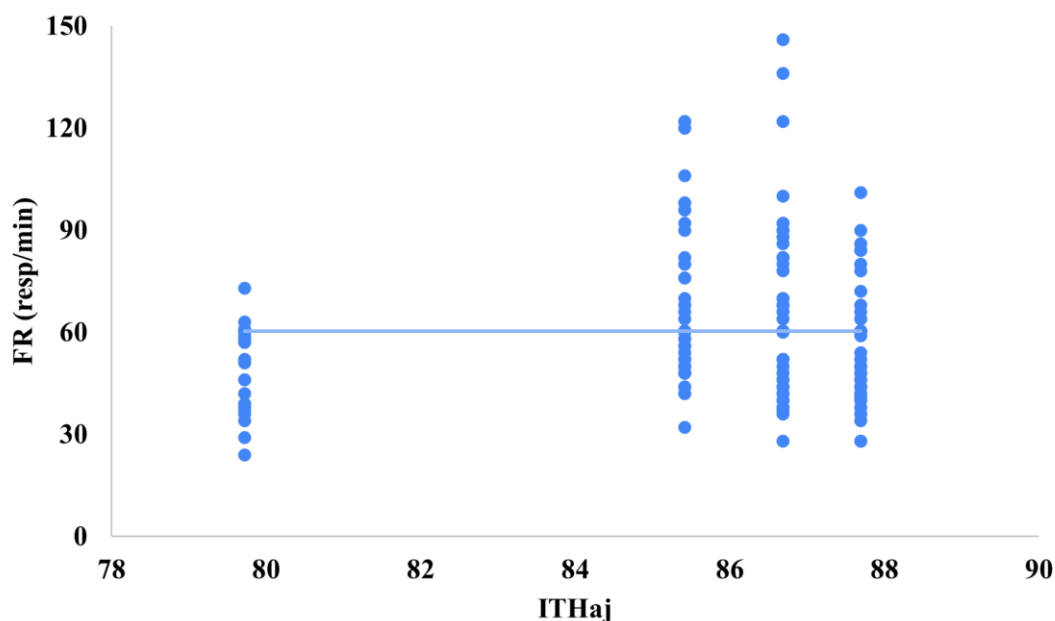
Esto coincide con lo mencionado anteriormente donde se reporta que la FR aumenta con el aumento de la temperatura ambiental. Sin embargo, da Silva et al. (2007) señalan que la FR no solo responde a la temperatura ambiente, sino que también se considera de gran utilidad conocer también la radiación y la velocidad del viento para obtener una estimación más precisa del riesgo

En comparación con los resultados de Días López Frola y Hernández Leal (2024) para un ITH 76, el ganado Charolais presentó valores de FR promedio de 53,5

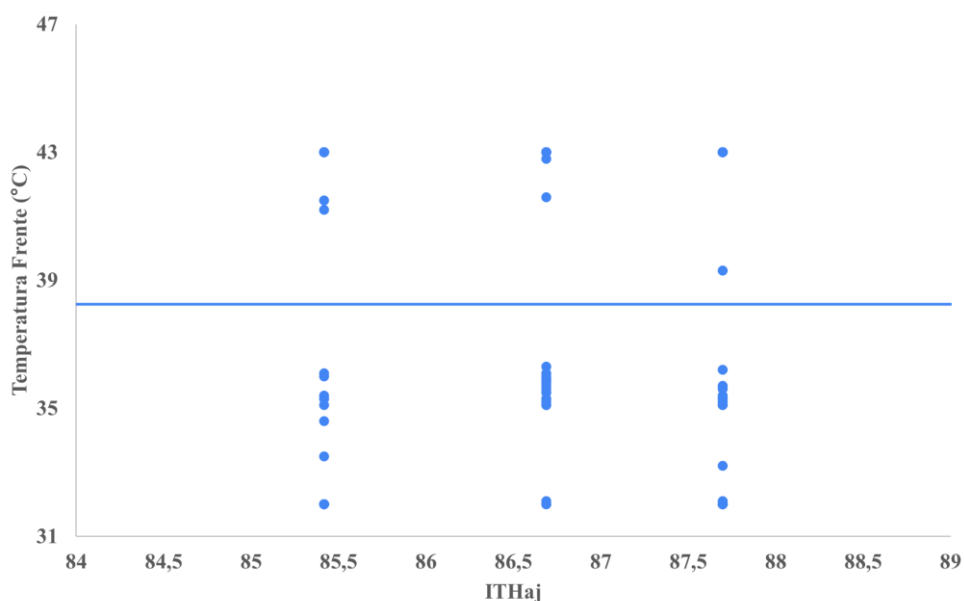
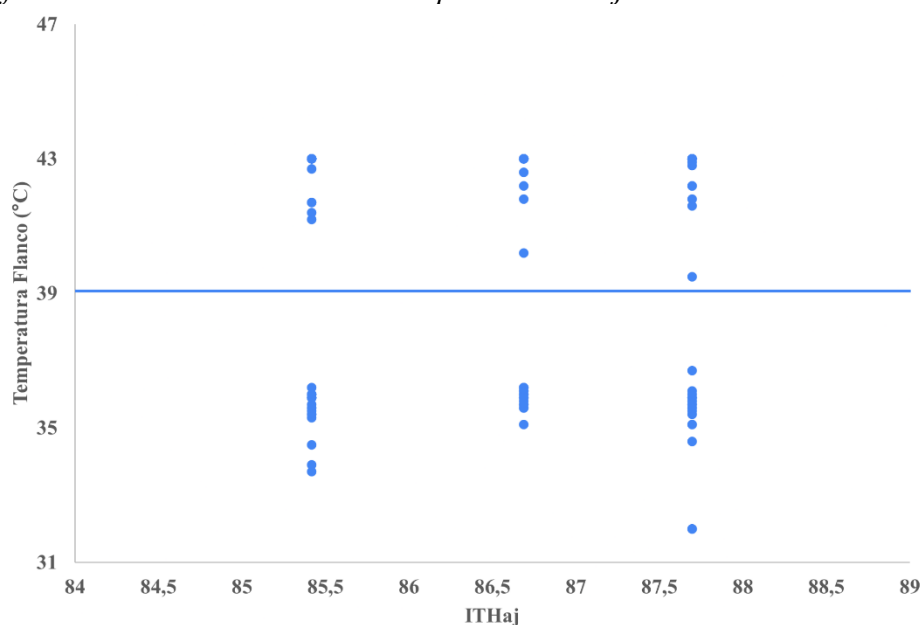
respiraciones por minuto, mientras que dichos autores reportaron valores de 55 en Angus, 48 en Braford, 47 en Hereford y 50 en Tulianguy y Brangus. Cabe destacar que como se mencionó anteriormente, el valor de ITH no indica un estado de emergencia, por lo que la respuesta se puede adjudicar a que no se compararon en situaciones extremas de estrés.

Figura 7

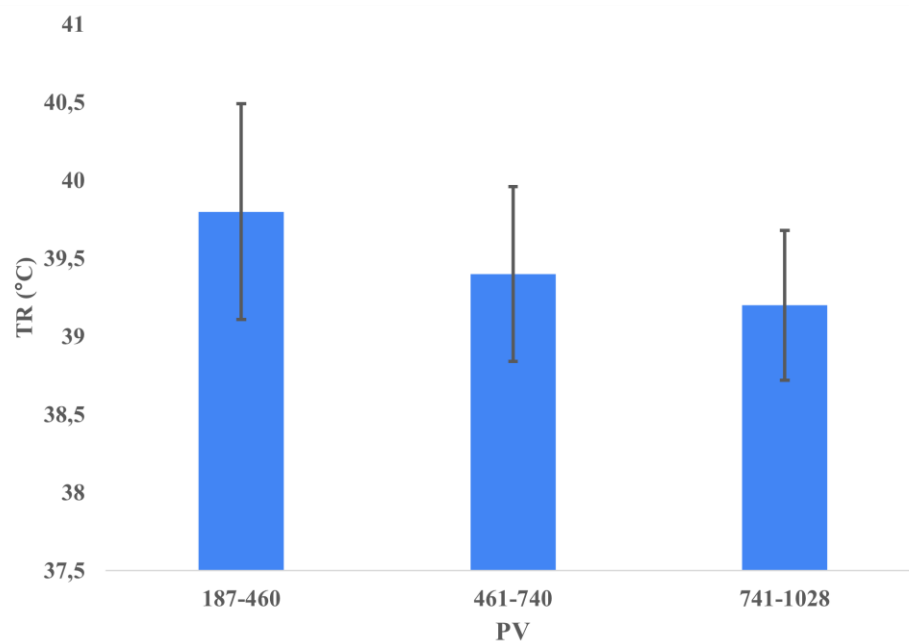
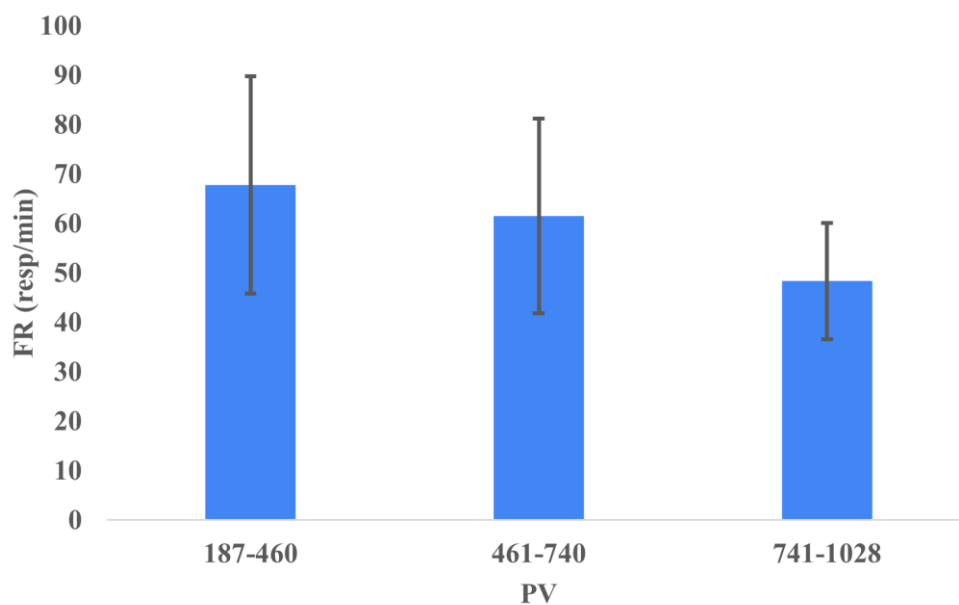
Efecto del ITH ajustado sobre la FR de los datos observados



De forma similar, la temperatura superficial también mostró una relación positiva con el incremento del ITHaj. En la figura 8 se observa como la Tfr aumentó progresivamente a medida que se incrementó el valor de ITHaj, mientras que en la figura 9 se aprecia la misma tendencia en Tfl. En ambas zonas corporales, las pendientes fueron positivas y estadísticamente significativas ($p < 0.001$), indicando que la carga térmica ambiental se refleja rápidamente en la temperatura corporal. Estos resultados confirman que las mediciones superficiales responden de manera sensible a las variaciones del entorno y acompañan lo observado en las variables corporales internas como TR y visibles como FR, aunque con una amplitud de cambio mayor.

Figura 8*Tfr de los datos observados con respecto al ITHaj***Figura 9***Tfl de los datos observados con respecto al ITHaj*

El peso corporal tiene un efecto protector leve sobre la TR de $-0,00158$ y también sobre la FR de $-0,0297$. Es decir que, a mayor peso vivo, ambas variables fisiológicas tienden a ser un poco menores en sus valores (figuras 10 y 11). Para este análisis, los animales se agruparon en tres categorías de peso: livianos (187–460 kg; $n=43$), medios (461–740 kg; $n=76$) y pesados (741–1028 kg; $n=34$). Esta tendencia podría asociarse a una mejor condición corporal o mayor capacidad de termorregulación.

Figura 10*TR promedio y desvío estándar en distintas categorías de PV***Figura 11***FR promedio y desvío estándar en distintas categorías de PV*

Por otra parte, en la figura 12 se observa un comportamiento contrario al de las Figuras 10 y 11. Mientras que la TR y la FR disminuyeron levemente con el aumento del PV, la temperatura superficial en frente y flanco mostró una tendencia opuesta, aumentando de $37,5 \pm 4,3$ a $38,2 \pm 4,1$ °C en frente y de $38,2 \pm 3,7$ a $38,9 \pm 3,1$ °C en flanco entre las categorías de menor y mayor peso.

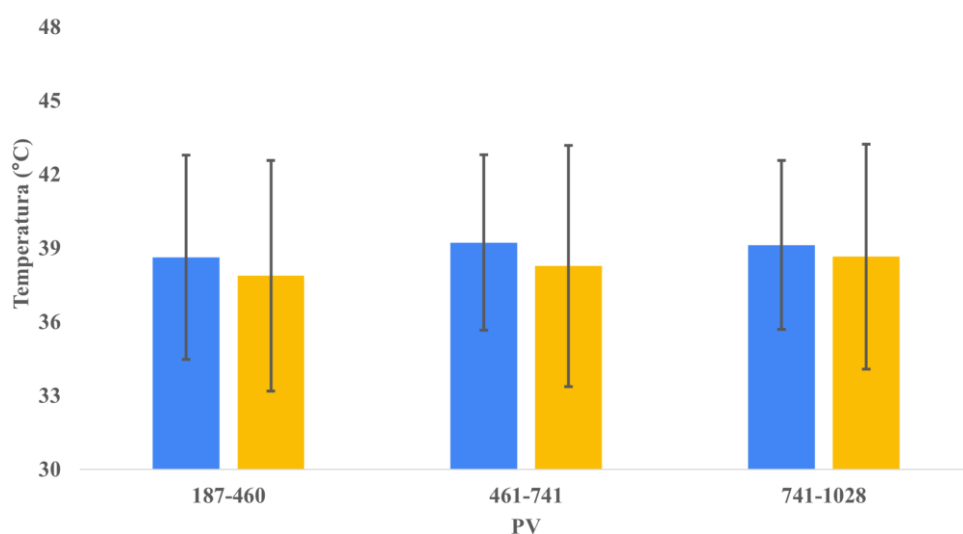
Los animales más pesados muestran valores ligeramente menores de TR y FR, indicando un posible efecto amortiguador. Esto podría asociarse a una mayor capacidad térmica corporal, menor superficie relativa y potencial eficiencia metabólica, sugiriendo que individuos más pesados no necesariamente son más susceptibles al calor.

Sin embargo, no existen muchos estudios que evalúen el efecto del peso vivo sobre estas variables fisiológicas, incluso con la evidencia científica que se tiene no es del todo consistente. En un estudio realizado en Sudáfrica se observó que un mayor peso corporal incrementó la producción de calor metabólico, lo que en principio debería aumentar la susceptibilidad al calor (Foster et al., 2009). En la misma línea, Brown-Brandl, Nienaber et al. (2006) reportaron que el ganado de mayor peso presentó un riesgo más elevado de mortalidad durante eventos de calor extremo.

La principal contradicción con estos resultados proviene del concepto de producción de calor metabólico, donde un mayor peso corporal incrementa la producción de calor metabólico, lo que en teoría debería aumentar la susceptibilidad al calor con mayor peso, debido a una mayor producción de calor metabólico, dificultando el equilibrio térmico (Brown-Brandl & Jones, 2011).

Figura 12

Tfr y Tfl con según rangos de PV



Nota. Barra azul corresponde a Tfl y amarilla a Tfr.

En la Tabla 7 se presentan los niveles de significancia obtenidos para los efectos principales e interacciones del modelo mixto lineal aplicado a las variables fisiológicas evaluadas en bovinos Charolais. Se analizaron la TR, la FR, la TFr y TFl, en función del ITHaj, la categoría animal, el PV y la interacción ITHaj × Categoría. Esta presentación permite visualizar de forma resumida qué factores ambientales y productivos influyeron significativamente sobre las respuestas fisiológicas asociadas al estrés térmico.

Tabla 7

Significancia de los efectos del ITHaj, la categoría, PV y la interacción ITHaj x Categorías sobre variables fisiológicas

| Variables | TR | FR | TFr | TFI |
|-------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| ITHaj = 47.7 - 90 | *** | *** | *** | *** |
| Terneros/as | . | ns | ns | . |
| Torito | . | ns | * | ** |
| Toro | * | ns | * | ** |
| Vacas | ** | ns | ns | *** |
| Vaquillonas | ns | ns | ns | *** |
| PV | *** | * | ns | ns |
| ITHaj x Categoría | ** | ns | ** | *** |

Nota. ITHaj 47.7 - 90 contiene ITHaj: 47.7, 66.8, 73, 78.5, 85, 90
 Signif.: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, $p < 0.1$, ns $p \geq 0.1$.

El análisis del modelo mixto lineal mostró que el ITHaj tuvo un efecto altamente significativo ($p < 0.001$) sobre todas las variables fisiológicas evaluadas: TR, FR, TFI y TFr, lo que confirma la sensibilidad de estos indicadores frente a las condiciones de carga térmica ambiental.

En cuanto a la categoría animal, se observaron respuestas diferenciales: los toro y vacas presentaron efectos significativos en TR y TFI ($p < 0.05$ a $p < 0.001$), indicando mayor susceptibilidad al calor en comparación con categorías jóvenes. En cambio, los terneros y vaquillonas mostraron menor variación, con efectos no significativos o marginales, lo que sugiere una mejor capacidad termorregulatoria o menor exposición relativa al estrés térmico. El PV influyó significativamente sobre la TR y FR ($p < 0.05$ – 0.001), lo que concuerda con la relación positiva entre masa corporal y carga metabólica. Finalmente, la interacción entre ITHaj y categoría fue significativa para TR, TFr y TFI ($p < 0.01$ – 0.001), evidenciando que el efecto del calor ambiental difiere según la categoría, probablemente asociado a variaciones en tamaño corporal, producción y comportamiento térmico.

En las Tablas de la 8 a la 11 se presentan las medias ajustadas (EMMeans \pm desvío estándar) correspondientes a las variables fisiológicas evaluadas: TR, FR, TFr y TFI. Dichas variables se analizaron en función del ITHaj y la categoría animal (terneros/as, torito, toro, vacas y vaquillonas), diferenciando los registros obtenidos por la mañana (AM) y tarde (PM) de cada día experimental. Este conjunto de tablas permite visualizar el efecto combinado de las condiciones ambientales y la categoría sobre las respuestas fisiológicas asociadas al estrés térmico, facilitando la comparación entre grupos y periodos del día.

Tabla 8

Medias ajustadas de la TR según el ITHaj y la categoría animal para am y pm de cada día evaluado

| | D1 | D2 | D3 | |
|--------------------|------|---------|--------|---------|
| ITHaj am | 47.7 | 66.8 | 73 | DE |
| Terneras | 38.8 | 38.5 | 38.4 | ± 0.288 |
| Terneros | 39.1 | 38.8 | 38.7 | ± 0.274 |
| Torito | 38.7 | 38.4 | 38.3 | ± 0.262 |
| Toro | 39.3 | 39.1 | 39 | ± 0.391 |
| Vacas | 39.4 | 39.2 | 39.1 | ± 0.123 |
| Vaquillonas | 39.4 | 39.1 | 39 | ± 0.138 |
| ITHaj pm | 78.5 | 90 | 85 | DE |
| Terneras | 39.1 | 39.4 | 39.6 | ± 0.288 |
| Terneros | 39.4 | 39.7 | 39.8 | ± 0.274 |
| Torito | 39 | 39.3 ** | 39.5 . | ± 0.262 |
| Toro | 39.7 | 40 * | 40.1 * | ± 0.391 |
| Vacas | 39.8 | 40.1 | 40.2 | ± 0.123 |
| Vaquillonas | 39.7 | 40 | 40.1 | ± 0.138 |

Durante la mañana (ITHaj am entre 47.7 y 73), las TR de las diferentes categorías se mantuvieron dentro del rango fisiológico normal para bovinos (38 – 39.5 °C), sin evidenciar incrementos relevantes asociados al aumento del ITH. En este período, la tendencia general fue a una ligera disminución de la temperatura corporal entre el Día 1 (D1) y el Día 3 (D3), lo que sugiere que bajo condiciones de bajo a moderado estrés térmico los animales lograron mantener su homeotermia de forma efectiva. Las vacas y vaquillonas presentaron los valores más altos (≈ 39.4 °C), seguidas de toro y terneros, mientras que las terneras y torito mostraron los registros más bajos. Estas pequeñas diferencias (menores a 1 °C) podrían atribuirse a diferencias en tamaño corporal y tasa metabólica, lo cual concuerda con reportes previos que asocian el peso adulto con una mayor producción de calor metabólico y menor eficiencia de disipación.

En contraste, durante la tarde (ITHaj pm entre 78.5 y 90), se observó un aumento progresivo y generalizado de la TR en todas las categorías. Este incremento se acentuó en el Día 2 (D2), cuando el ITH alcanzó valores cercanos a 90, reflejando condiciones de estrés térmico moderado a severo. Las temperaturas superaron los 40 °C en toro y vacas, mostrando diferencias significativas respecto al primer día ($p < 0.05$). Las categorías adultas (toro, vacas y vaquillonas) fueron las más afectadas, alcanzando valores compatibles con hipertermia leve, mientras que los animales jóvenes (terneros, terneras y torito) presentaron aumentos más moderados. El descenso del ITH en el D3 (de 90 a 85) no se tradujo en una reducción inmediata de la TR, lo que sugiere la existencia de acumulación térmica o un período de recuperación fisiológica más lento, fenómeno frecuente en situaciones de calor acumulado a lo largo del día.

Al analizar los resultados por día, integrando los registros de la mañana y la tarde, se observa que el Día 1 (ITHaj promedio más bajo) representó condiciones térmicas favorables, con temperaturas rectales estables en torno a 39 °C en todas las categorías. En el Día 2, coincidiendo con los mayores valores de ITH (am = 66.8; pm = 90), se registraron los valores más elevados de temperatura corporal, alcanzando picos de hasta 40 °C en toro y vacas. Este comportamiento indica una clara relación positiva entre el incremento del ITH y la TR. En el Día 3, pese a la disminución del ITH vespertino (pm = 85), las temperaturas permanecieron elevadas, lo que podría asociarse a estrés térmico acumulativo o a una menor eficiencia de disipación del calor corporal durante la noche previa.

Tabla 9

Medias ajustada de la FR según el ITHaj y la categoría animal para am y pm de cada día evaluado

| | D1 | D2 | D3 | |
|--------------------|------|------|------|---------|
| ITHaj am | 47.7 | 66.8 | 73 | DE |
| Terneras | 40.7 | 42.2 | 45.4 | ± 12.20 |
| Terneros | 46.9 | 48.4 | 51.6 | ± 11.60 |
| Torito | 45.3 | 46.8 | 50 | ± 11.10 |
| Toro | 47.7 | 49.2 | 52.4 | ± 16.70 |
| Vacas | 41.7 | 43.2 | 46.4 | ± 4.99 |
| Vaquillonas | 51.8 | 53.3 | 56.6 | ± 5.67 |
| | | | | |
| ITHaj pm | 78.5 | 90 | 85 | DE |
| Terneras | 58.1 | 81 | 82.3 | ± 12.20 |
| Terneros | 64.3 | 87.2 | 88.5 | ± 11.60 |
| Torito | 62.7 | 85.7 | 86.9 | ± 11.10 |
| Toro | 65.2 | 88.1 | 89.3 | ± 16.70 |
| Vacas | 59.2 | 82.1 | 83.3 | ± 4.99 |
| Vaquillonas | 69.3 | 92.2 | 93.5 | ± 5.67 |

Durante la mañana, cuando el ITHaj se mantuvo en niveles bajos a moderados (47.7 a 73), las FR se ubicaron en rangos normales para bovinos en condiciones de confort térmico (entre 40 y 56 respiraciones por minuto). En este período, la FR mostró una tendencia ascendente leve y progresiva desde el Día 1 (D1) al Día 3 (D3), acompañando el incremento del ITH. Este aumento fue más notorio en las vaquillonas, que pasaron de 51.8 a 56.6 rpm, y en los toros, que alcanzaron 52.4 rpm en el D3. Las vacas y terneras mantuvieron los valores más bajos (40–46 rpm), mientras que terneros y torito presentaron frecuencias intermedias. En conjunto, estos resultados indican que, aunque el aumento matutino del ITHaj generó un incremento moderado de la FR, los animales lograron compensar el aumento de carga térmica mediante mecanismos de disipación de calor sin evidenciar signos de estrés respiratorio severo.

Por la tarde, bajo condiciones de mayor carga térmica (ITHaj entre 78.5 y 90), se observó un aumento marcado y sostenido de la FR en todas las categorías. Los valores se elevaron significativamente respecto a la mañana, con registros que superaron ampliamente los 80 rpm en varios grupos, evidenciando una respuesta fisiológica de termorregulación activa frente al estrés por calor. Las vaquillonas y los toros mostraron los mayores valores, alcanzando entre 89 y 93 rpm en el Día 3, mientras que las vacas y terneras mantuvieron frecuencias más moderadas (alrededor de 82–83 rpm). Este patrón confirma que la frecuencia respiratoria aumenta de forma proporcional al ITHaj, constituyendo un indicador sensible del estrés térmico. Además, la persistencia de valores elevados en el Día 3, pese al leve descenso del ITHaj (de 90 a 85), sugiere un efecto acumulativo del calor y una recuperación fisiológica parcial, lo que concuerda con lo observado para la TR.

Cuando se analiza la variable por día integrando los registros de la mañana y la tarde, el Día 1 (ITHaj más bajo) refleja condiciones de confort térmico, con FR que oscilan entre 40 y 65 rpm, valores compatibles con una ventilación basal normal. En el Día 2, coincidiendo con el máximo ITHaj (90 en la tarde), la FR alcanzó los valores más elevados del ensayo, evidenciando hiperventilación compensatoria asociada al calor ambiental extremo. Finalmente, en el Día 3, aunque el ITHaj vespertino fue levemente menor (85), las frecuencias permanecieron altas, lo que indica fatiga térmica acumulada y persistencia del estrés fisiológico tras la exposición previa a calor intenso.

Tabla 10

Medias ajustadas de la TFr según ITHaj y la categoría animal para am y tarde pm de cada día evaluado.

| | D1 | | D2 | | D3 | | |
|--------------------|-------------|----|-------------|---|-----------|--|-----------|
| ITHaj am | 47.7 | | 66.8 | | 73 | | DE |
| Terneras | 31.4 | | 33.5 | | 31.3 | | ± 0.712 |
| Terneros | 33.2 | | 35.2 | | 33 | | ± 0.681 |
| Torito | 34.4 | | 36.5 | | 34.3 | | ± 0.653 |
| Toro | 34.5 | | 36.6 | . | 34.4 | | ± 0.951 |
| Vacas | 33.5 | | 35.6 | | 33.4 | | ± 0.350 |
| Vaquillonas | 33 | | 35.1 | | 32.9 | | ± 0.380 |
| | | | | | | | |
| ITHaj pm | 78.5 | | 90 | | 85 | | DE |
| Terneras | 42.5 | | 42.8 | | 42.9 | | ± 0.712 |
| Terneros | 44.2 | | 44.6 | | 44.6 | | ± 0.681 |
| Torito | 45.4 | | 45.8 | | 45.9 | | ± 0.653 |
| Toro | 45.6 | | 45.9 | | 46 | | ± 0.951 |
| Vacas | 44.6 | * | 44.9 | | 45 | | ± 0.350 |
| Vaquillonas | 44.1 | ** | 44.4 | * | 44.5 | | ± 0.380 |

Durante la mañana, cuando los valores de ITHaj se mantuvieron bajos a moderados (47.7 a 73), las TFr oscilaron entre 31 y 36 °C, reflejando un entorno térmico confortable y una piel eficientemente más fría que la temperatura interna. En este período, las temperaturas siguieron una tendencia de aumento en D2, coincidente con el incremento del ITHaj hasta 66.8, y un posterior descenso en D3, cuando el ITHaj alcanzó 73. Este patrón sugiere una efectiva disipación térmica cutánea por vasodilatación y pérdida de calor por radiación durante las primeras horas del día. Las categorías con mayores temperaturas superficiales fueron los torito y toro, alcanzando valores de 36.5–36.6 °C en el D2, mientras que las terneras y vaquillonas presentaron las menores temperaturas (≈ 33 °C). En general, el aumento de la TFr en D2 muestra una respuesta fisiológica adaptativa al incremento de la carga térmica, manteniéndose aún dentro de rangos normales para bovinos bajo confort térmico.

En la tarde, con ITHaj entre 78.5 y 90, las temperaturas superficiales se incrementaron marcadamente, alcanzando valores entre 42 y 46 °C, lo que evidencia una acumulación de calor superficial producto de la radiación solar y del aumento de la temperatura ambiental. Todas las categorías mostraron un patrón ascendente, con los valores más altos en toro (45.6–46 °C) y torito (≈ 45.9 °C), mientras que terneras y vaquillonas registraron temperaturas levemente menores (42.9 y 44.5 °C, respectivamente). Las vacas y vaquillonas presentaron diferencias significativas entre días ($p < 0.05$ o tendencia **), lo que sugiere una mayor sensibilidad cutánea o una respuesta adaptativa más dinámica a las variaciones del ITHaj. Este incremento vespertino, cercano o superior a 45 °C en las categorías adultas, es indicativo de estrés térmico moderado a severo, ya que refleja la limitación de la disipación de calor cuando la temperatura ambiental y la radiación superan la capacidad de intercambio eficiente con el medio.

Al analizar la variable por día completo, se evidencia un claro contraste térmico entre la mañana y la tarde. En el Día 1, con ITHaj promedio bajo, las temperaturas superficiales se mantuvieron bajas tanto en am como en pm, sin indicios de sobrecalentamiento cutáneo. En el Día 2, coincidente con el ITHaj más alto (90 en la tarde), la TFr alcanzó los valores máximos en todas las categorías, confirmando la relación directa y positiva entre el ITHaj y la temperatura superficial. En el Día 3, a pesar de una leve reducción del ITHaj vespertino (85), las temperaturas se mantuvieron elevadas, lo que nuevamente sugiere un efecto acumulativo del calor ambiental y una recuperación térmica incompleta durante la noche o la mañana siguiente.

Tabla 11

Medias ajustadas de la TFl °C según ITHaj y la categoría animal para am y pm de cada día evaluado

| | D1 | | D2 | | D3 | | |
|--------------------|-------------|----|-------------|----|-----------|-----|-----------|
| ITHaj am | 47.7 | | 66.8 | | 73 | | DE |
| Terneras | 33.6 | | 34.4 | | 34 | | ± 0.634 |
| Terneros | 34.8 | | 35.5 | | 35.1 | | ± 0.608 |
| Torito | 35.8 | | 36.6 | . | 36.2 | | ± 0.584 |
| Toro | 34.4 | | 35.2 | . | 34.8 | | ± 0.841 |
| Vacas | 35.4 | | 36.1 | ** | 35.8 | * | ± 0.329 |
| Vaquillonas | 35.4 | | 36.2 | ** | 35.8 | * | ± 0.354 |
| ITHaj pm | 78.5 | | 90 | | 85 | | DE |
| Terneras | 42 | | 42.7 | | 42.9 | | ± 0.634 |
| Terneros | 43.1 | | 43.8 | | 44 | * | ± 0.608 |
| Torito | 44.2 | | 44.8 | | 45.1 | . | ± 0.584 |
| Toro | 42.8 | ** | 43.4 | * | 43.7 | *** | ± 0.841 |
| Vacas | 43.8 | | 44.4 | * | 44.6 | ** | ± 0.329 |
| Vaquillonas | 43.8 | | 44.4 | | 44.7 | * | ± 0.354 |

Durante la mañana, cuando el ITHaj se mantuvo entre 47.7 y 73 (condiciones de confort térmico a leve carga calórica), las TFl se mantuvieron entre 33 y 36 °C, sin alcanzar valores indicativos de estrés por calor. Las temperaturas aumentaron levemente del Día 1 (D1) al Día 2 (D2), coincidiendo con el ascenso del ITHaj hasta 66.8, y luego mostraron una estabilización o ligero descenso en D3, cuando el índice alcanzó 73. Este comportamiento refleja una respuesta térmica controlada, donde el aumento matutino del ITHaj no generó acumulación de calor superficial excesivo. Las vacas y vaquillonas presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$ y $*p < 0.01$), indicando que, aunque mantienen la homeotermia interna, exhiben variaciones cutáneas detectables ante cambios ambientales. Las categorías torito y terneros mostraron las temperaturas más altas (≈ 36 °C), mientras que terneras y toro se mantuvieron ligeramente por debajo, lo que sugiere diferencias en la eficiencia de disipación térmica y en la exposición relativa del flanco al sol durante las mediciones.

Por la tarde, con valores de ITHaj elevados (78.5 a 90), la temperatura del flanco aumentó de forma marcada, alcanzando entre 42 y 45 °C en todas las categorías. Este incremento refleja la acumulación de calor superficial y la mayor incidencia de radiación solar directa, combinada con la limitada capacidad de convección y evaporación en horas de máxima temperatura ambiental. Las diferencias estadísticas observadas en toro, vacas y vaquillonas ($p < 0.05$ a $**p < 0.001$) confirman que las categorías adultas experimentaron los mayores aumentos térmicos, posiblemente por su mayor masa corporal y menor relación superficie/volumen, lo que dificulta la disipación del calor. Los terneros y torito, aunque también aumentaron significativamente, alcanzaron temperaturas algo menores (≈ 44 – 45 °C). La persistencia de valores elevados en el Día 3, a pesar del leve descenso del ITHaj (de 90 a 85), sugiere un efecto acumulativo del calor ambiental y una recuperación térmica incompleta, consistente con los patrones observados para la TR y la Tfr.

Al analizar la TFl por día, integrando las mediciones matutinas y vespertinas, se observa que el Día 1 representa condiciones de confort térmico, con temperaturas promedio más bajas y un gradiente térmico moderado entre mañana y tarde. En el Día 2, coincidiendo con el ITHaj máximo (90), se registraron los valores más altos de temperatura superficial, evidenciando un estado de estrés térmico agudo. En el Día 3, aunque el índice disminuyó ligeramente, las temperaturas se mantuvieron elevadas, indicando estrés residual y adaptación térmica retardada. Este comportamiento sugiere que los animales no logran restablecer completamente el equilibrio térmico entre días consecutivos de alta carga calórica.

Los resultados obtenidos evidencian una clara influencia del incremento del ITHaj sobre las variables fisiológicas de los bovinos, lo cual concuerda con la literatura que describe al estrés térmico como un factor determinante en la homeotermia y el comportamiento productivo de los animales (Gaughan et al., 2008; Mader et al., 2010).

El aumento simultáneo de la TR, la FR y las temperaturas superficiales (frente y flanco) al elevarse el ITHaj confirma la activación de mecanismos de disipación de calor

por conducción, radiación y evaporación, tal como describen Brown-Brandl et al. (2005) y Finch (1986).

Durante las horas de la tarde, cuando el ITHaj superó los 78 puntos, los animales alcanzaron FR superiores a 90 movimientos por minuto y temperaturas superficiales cercanas a 45 °C, lo que refleja un estado de estrés térmico moderado a severo, coincidiendo con los rangos críticos propuestos por Hahn et al. (2003) para bovinos en pastoreo.

Asimismo, las diferencias observadas entre categorías revelan variaciones fisiológicas y de adaptabilidad térmica. Los toros, vacas y vaquillonas presentaron las respuestas más elevadas en todas las variables, sugiriendo una mayor carga calórica asociada al tamaño corporal, metabolismo basal y, en el caso de las hembras adultas, a la posible influencia hormonal sobre la termogénesis. En cambio, las terneras y terneros mostraron incrementos más moderados en las temperaturas superficiales y frecuencia respiratoria, lo que podría asociarse a una mayor capacidad de adaptación o a una menor masa corporal expuesta al calor, resultados que coinciden con los hallazgos de Batista Taborda et al. (2018) en razas Bonsmara y Hereford, donde los animales jóvenes mostraron menor variabilidad térmica frente al incremento del ITH. De manera similar, Inzaurraga Machado y Vera Carrau (2025) observaron en animales Angus, Hereford y cruza que los terneros ajustan más rápidamente sus mecanismos de termorregulación bajo condiciones de pastoreo, especialmente mediante el control de la FR, confirmando la tendencia observada en el presente estudio.

En relación con las temperaturas superficiales, la TFl se mostró más sensible al aumento del ITHaj que la TFr. Gaughan et al. (2008) no evalúan temperaturas superficiales, sus resultados indican que mediciones corporales con mayor sensibilidad térmica (como la temperatura timpánica) responden rápidamente al incremento de la carga calórica, lo cual es consistente con la tendencia observada en el presente estudio. Esta diferencia resalta el valor del flanco como zona de referencia para monitorear la disipación térmica y detectar el inicio del estrés calórico, si bien Collier et al. (2019) no analizan regiones anatómicas específicas, sí destacan que la detección temprana del estrés por calor depende de indicadores fisiológicos sensibles y de los mecanismos integrados de termorregulación del animal.

Finalmente, el comportamiento observado entre la mañana y la tarde refleja claramente el efecto acumulativo del calor ambiental, donde los animales pasan varias horas expuestos a altas temperaturas durante el día, no siempre logran enfriarse lo suficiente durante la noche, por lo que comienzan la jornada siguiente con una carga térmica aún elevada. Este fenómeno ya había sido señalado por Gaughan et al. (2008) y Mader et al. (2006), quienes destacaron que la falta de enfriamiento nocturno prolonga el impacto del estrés térmico sobre la fisiología y el bienestar. En conjunto, los resultados indican que el aumento sostenido del ITHaj provoca una respuesta fisiológica coordinada en los bovinos, reflejada en el aumento de la temperatura corporal, de la frecuencia respiratoria y de la temperatura superficial y que la magnitud de estos cambios depende tanto del momento del día como de la categoría animal, coincidiendo con lo reportado por Brown-Brandl et al. (2005).

6 Conclusiones

Los resultados obtenidos confirman que el aumento del índice de temperatura y humedad ajustado (ITHaj) generó una respuesta fisiológica clara en los bovinos evaluados de la raza Charolais, evidenciada por incrementos significativos en la temperatura rectal, la frecuencia respiratoria y las temperaturas corporales superficiales medidas en la frente y el flanco. Estas variaciones reflejan la activación de los mecanismos de termorregulación frente al calor ambiental, principalmente durante la tarde, cuando el ITHaj alcanzó valores superiores a 78. En ese periodo, los animales mostraron mayores esfuerzos por disipar calor mediante el aumento de la ventilación y la vasodilatación periférica, lo que se tradujo en valores elevados de temperatura corporal, FR y TR.

Entre las mediciones superficiales, la temperatura del flanco se destacó como un indicador más sensible al incremento del ITHaj que la temperatura de la frente, mostrando mayor coherencia con las variaciones internas. En conjunto, los resultados demuestran que el ITHaj es un indicador confiable del grado de estrés térmico en bovinos de carne y que la combinación de variables fisiológicas permite caracterizar con precisión la magnitud de la carga calórica ambiental.

Las diferencias observadas entre categorías animales indicaron que los toro, vacas y vaquillonas fueron los grupos más afectados, mientras que los terneros, terneras y torito mostraron respuestas más moderadas y una mejor recuperación térmica. Sin embargo, cuando se analizó el peso vivo por separado, se observó un efecto leve pero significativo, donde los animales más pesados aumentaron en menor proporción las variables de FR y TR frente a condiciones de ITHaj similares, lo que indica que existen otros factores fisiológicos tales como el estado productivo y requerimientos metabólicos que podrían explicar estas diferencias en la respuesta térmica.

Las condiciones ambientales registradas en el período en estudio mostraron que los animales se encontraron durante la mayor parte del tiempo sobre condiciones de estrés térmico, lo que sugiere que fue afectado el bienestar animal en este período y por ende una reducción del consumo de materia seca y en consecuencia una menor eficiencia en la ganancia de peso. En este contexto, las estrategias de mitigación tales como la provisión de sombra, el acceso a agua de calidad y dietas balanceadas con una menor producción de calor metabólico serían las recomendaciones para la mitigación del estrés calórico. Estos hallazgos aportan herramientas valiosas para el manejo ganadero bajo condiciones de calor, orientadas a mejorar el bienestar animal y la eficiencia productiva mediante estrategias de adaptación y monitoreo continuo en ambientes subtropicales.

Finalmente, estos resultados destacan la importancia de continuar desarrollando líneas de investigación orientadas a profundizar en la caracterización fisiológica y productiva de la raza Charolais bajo condiciones de estrés calórico en el contexto nacional. Estos hallazgos indican que, pese a su biotipo continental, la raza Charolais presenta variabilidad interna en su capacidad de respuesta al calor, lo que ofrece

oportunidades para selección y manejo orientados a mejorar la resiliencia en sistemas ganaderos subtropicales.

Si bien su presencia en el rodeo uruguayo es actualmente limitada, la evidencia obtenida en este estudio, junto con resultados reportados a nivel internacional, sugieren que la raza Charolais presenta una mayor resiliencia fisiológica frente al calor en comparación con otras razas de la subespecie *Bos taurus* como Angus o Hereford. En este sentido, la elección de esta raza podría constituir una estrategia de mitigación frente al estrés térmico en sistemas de producción de carne, contribuyendo a mejorar la eficiencia productiva en escenarios de aumento de temperatura asociados al cambio climático.

Por último, queríamos destacar la falta de información a nivel nacional sobre la raza, por lo que nos resulta interesante mencionar qué este trabajo final de grado ofrece una aproximación a las respuestas de la raza frente al estrés por calor por lo que resulta necesario continuar evaluando la misma en todos los sentidos para poder ofrecer a los productores otra alternativa genética para incorporar al rodeo nacional. A su vez resulta pertinente incentivar a la investigación en los cruzamientos terminales con la misma como alternativa productiva. Cabe destacar que, si bien los resultados estadísticos dieron significancia, el número de individuos es bajo, por lo que sería interesante evaluar la raza con más números de animales por categoría.

7 Bibliografía

- Alfonzo, E. P., Barbosa da Silva, M. V. G., Daltro, D. S., Stumpf, M. T., Dalcin, V. C., Kolling, G., Fischer, V., & McManus, C. M. (2016). Relationship between physical attributes and heat stress in dairy cattle from different genetic groups. *International Journal of Biometeorology*, 60, 245-253.
<https://doi.org/10.1007/s00484-015-1021-y>
- Alzina-López, A., Farfán-Escalante, J. C., Valencia-Heredia, E. R., & Yokoyama-Kano, J. (2001). Condición ambiental, temperatura rectal y frecuencia respiratoria en bovinos cruzados (*Bos taurus* × *Bos indicus*) del estado de Yucatán, México. *Revista Biomédica*, 12(2), 112-121.
<https://www.medigraphic.com/pdfs/revbio/bio-2001/bio012d.pdf>
- Arias, R. A., Mader, T. L., & Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40(1), 7-22. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2008000100002>
- Batista Taborda, P. A., Saravia, C. T., & Espasandin, A. C. (2018). Physiological responses and animal behavior in Bonsmara-Hereford crosses vs. Hereford purebred on environmental stress. *Scientia Agricola*, 75(6), 479-485.
<https://doi.org/10.1590/1678-992X-2017-0042>
- Beretta, V., Simeone, Á., & Bentancur, O. (2013). Manejo de la sombra asociado a la restricción del pastoreo: Efecto sobre el comportamiento y performance estival de vacunos. *Agrociencia (Uruguay)*, 17(1), 131-140.
http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482013000100016&lng=es&tlng=es
- Bianchi, M., & Caprioli, V. (1995). *Relevamiento a nivel nacional de la raza Charolais* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Blackshaw, J. K., & Blackshaw, A. W. (1994). Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 34(2), 285-295. <https://connectsci.au/an/article-abstract/34/2/285/152989/Heat-stress-in-cattle-and-the-effect-of-shade-on>
- Boggiano, P., Zanoniani, E., & Millot, M. (2005). Respuestas del campo natural a manejos con niveles crecientes de intervención. En R. Gómez Miller & M. M. Albicette (Eds.), *Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural* (pp. 105-113). INIA.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2896/1/15630021107142110.pdf>
- Bonsma, J. C. (1996). *Estudios sobre selección del ganado*. Hemisferio Sur.

- Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., & Nienaber, J. A. (2006). Heat stress risk factors of feedlot heifers. *Livestock Science*, 105(1-3), 57-68.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.025>
- Brown-Brandl, T. M., & Jones, D. D. (2011). Feedlot cattle susceptibility to heat stress: An animal-specific model. *Transactions of the ASABE*, 54(2), 583-598.
<https://doi.org/10.13031/2013.36462>
- Brown-Brandl, T. M., Jones, D. D., & Woldt, W. E. (2005). Evaluating modelling techniques for cattle heat stress prediction. *Biosystems Engineering*, 91(4), 513-524. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.04.003>
- Brown-Brandl, T. M., Nienaber, J. A., Eigenberg, R. A., Mader, T. L., Morrow, J. L., & Dailey, J. W. (2006). Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livestock Science*, 105(1-3), 19-26.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.012>
- Chemineau, P. (1992). Medio ambiente y reproducción animal. *Revista Mundial de Zootecnia*, 77, 141-158. <https://www.fao.org/4/v1650t/v1650T00.htm>
- Clariget, J. M., Banchemo, G., Aznárez, V., Perez, E., Roig, G., Luzardo, S., Fernández, E., & La Manna, A. (2018). Mitigación del estrés calórico en novillos terminados a corral. *Revista Argentina de Producción Animal*, 38(1), 1-13.
- Collier, R. J., Baumgard, L. H., Zimbelman, R. B., & Xiao, Y. (2019). Heat stress: Physiology of acclimation and adaptation. *Animal Frontiers*, 9(1), 12-19.
<https://doi.org/10.1093/af/vfy031>
- Cruz, G., & Saravia, C. (2008). Air temperature and humidity index for regionalization of dairy farming in Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 12(1), 56-60.
<https://doi.org/10.31285/AGRO.12.745>
- da Silva, R. G., Morais, D. A. E. F., & Guilhermino, M. M. (2007). Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(suppl. 4), 1192-1198. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000500028>
- Davis, S., & Mader, T. L. (2003). Adjustments for wind speed and solar radiation to the temperature-humidity index. *Nebraska Beef Cattle Reports*, 224, 49-51.
<https://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/224>
- Días López Frola, E., & Hernández Leal, J. M. (2024). *Respuestas fisiológicas a diferentes ITH en 5 diferentes razas bovinas al norte del Uruguay* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/48647>

- Dowling, D. F. (1955). The hair follicle and apocrine gland populations of zebu (*Bos indicus* L.) and Shorthorn (*B. taurus* L.) cattle skin. *Australian Journal of Agricultural Research*, 6(4), 645-654.
- Durán, A. (Coord.). (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay* [Mapa]. MGAP. https://descargas.mgap.gub.uy/DGRN/Comunicaciones/1619_carta_de_reconocimiento_de_suelos_del_uruguay_1.1.000.000_imprimir_a0_0.pdf
- Finch, V. A. (1986). Body temperature in beef cattle: Its control and relevance to production in the tropics. *Journal of Animal Science*, 62(2), 531-542. <https://doi.org/10.2527/jas1986.622531x>
- Foster, L., Fourie, P., & Naser, F. (2009). Effect of heat stress on six beef breeds in the Zastron district: The significance of breed, coat colour and coat type. *South African Journal of Animal Science*, 39(5), 224-228. https://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-15892009000500053
- Gastaldi, L. B., Gattinoni, N. N., De Ruyver, R., & Toffoli, G. (2022). Índice de temperatura y humedad en localidades argentinas. *Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 21(2), Artículo e12324. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/publicaciones/index.php/FAVEAgrarias/es/article/view/12324/17011>
- Gaughan, J. B., Mader, T. L., Holt, S. M., & Lisle, A. (2008). A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 86(1), 226-234. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0305>
- Gayo, J. C. (1998). El ambiente y la producción animal. *Revista Plan Agropecuario*, (78), 17-23. https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R78/R_78_17.pdf
- Giraudó, M. (2003). *Estrés térmico*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/09-stres.pdf
- González-Rivas, P. A., Chauhan, S. S., Ha, M., Fegan, N., Dunshea, F. R., & Warner, R. D. (2020). Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. *Meat Science*, 162, Artículo e108025. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108025>
- Hahn, G. L., Eigenberg, R. A., Nienaber, J. A., & Littledike, E. T. (1990). Measuring physiological responses of animals to environmental stressors using a microcomputer-based portable datalogger. *Journal of Animal Science*, 68(9), 2658-2665. <https://doi.org/10.2527/1990.6892658x>

- Hahn, G. L., Mader, T. L., & Eigenberg, R. A. (2003). Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. En N. Lacetera, U. Bernabucci, H. H. Khalifa, B. Ronchi, & A. Nardone (Eds.), *Interaction between climate and animal production* (pp. 31-44). Wageningen Academic Publishers.
- Hansen P. J. (2004). Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Animal Reproduction Science*, 82-83, 349-360.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.011>
- Herrera Costabel, V. (2020). Efecto del estrés calórico en el bienestar animal y la producción. *Revista del Plan Agropecuario*, (176), 25-27.
https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/191_2972.pdf
- Hungerford, L. L., Buhman, M. J., Dewell, R. D., Mader, T. L., Griffin, D. D., Smith, D. R., & Nienaber, J. A. (2000). Investigation of heat stress mortality in four midwest feedlots. En M. D. Salman, P. S. Morley, & R. Ruch-Gallie (Eds.), *Proceedings of the 9th International Symposia on Veterinary Epidemiology and Economics (ISVEE 9, Breckenridge, Colorado)*. International Symposia on Veterinary Epidemiology and Economics.
<https://www.sciquest.org.nz/search/results-2/downloadfulltext/71437>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.). *Termoestrés bovinos: Manual de ayuda*. https://inia.uy/sites/default/files/pdf/Termoestres_Manual_de_ayuda.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Cambridge University Press.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_Longer_Report.pdf
- Inzaurraga Machado, A., & Vera Carrau, M. M. (2025). *Análisis comparativo del comportamiento en pastoreo de vacas Hereford, Angus y sus cruizas durante el verano en un sistema pastoril extensivo del litoral de Uruguay* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/52284>
- La Manna, A., Clariget, J. M., Jaurena, M., & Giorello, D. (2023). Agua: El principal nutriente. *Revista INIA*, (75), 26-30.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/17450/1/Revista-INIA-75-dic-2023-7.pdf>
- La Manna, A., Román, L., Bravo, R., & Aguilar, I. (2014). Estrés térmico en vacas lecheras. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Día de campo: Manejo de estrés térmico en ganado lechero* (pp. 1-8).
https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/produccion_bovina_leche/233-estres_termico.pdf

- Lees, A. M., Lees, J. C., Sejian, V., Sullivan, M. L., & Gaughan, J. B. (2020). Influence of shade on panting score and behavioural responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* feedlot cattle to heat load. *Animal Production Science*, 60(2), 305-315. <https://doi.org/10.1071/AN19013>
- Mader, T. L., Davis, M. S., & Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84(3), 712-719. <https://doi.org/10.2527/2006.843712x>
- Mader, T. L., Johnson, L. J., & Gaughan, J. B. (2010). A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *Journal of Animal Science*, 88(6), 2153-2165. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2586>
- McDaniel, A. H., & Roark, C. B. (1956). Performance and grazing habits of Hereford and Aberdeen-Angus cows and calves on improved pastures as related to types of shade. *Journal of Animal Science*, 15(1), 59-63. <https://doi.org/10.2527/jas1956.15159x>
- Mitlöhner, F. M., Morrow, J. L., Dailey, J. W., Wilson, S. C., Galyean, M. L., Miller, M. F., & McGlone, J. J. (2001). Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 79(9), 2327-2335. <https://doi.org/10.2527/2001.7992327x>
- Mufford, J. T., Reudink, M. W., Rakobowchuk, M., Carlyle, C. N., & Church, J. S. (2022). Using unmanned aerial vehicles to record behavioral and physiological indicators of heat stress in cattle on feedlot and pasture. *Canadian Journal of Animal Science*, 102(1), 1-8. <https://doi.org/10.1139/cjas-2020-0125>
- Roca Cedeño, A. (2011). Efecto del estrés calórico en el bienestar animal, una revisión en tiempo de cambio climático. *Espamciencia*, 2(1), 15-25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9138669>
- Rosso, A. (2004). Suplementación estival: Una estrategia para pulsar el negocio. *Revista del Plan Agropecuario*, (112), 21-25. https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R112/R112_21.pdf
- Rovira, P. (Ed.). (2012). *Uso de la sombra en la recría de novillos en sistemas pastoriles de la región este del Uruguay*. INIA. <https://inia.uy/sites/default/files/publications/2025-08/st-202-2012.pdf>
- Rovira, P., & Lorenzo, P. (2024). Effects of concentrate supplementation during summer on animal performance and heat stress of Angus steers grazing native grasslands in Uruguay. En American Forage and Grassland Council (Ed.), *Proceedings of the XXV International Grassland Congress* (pp. 1-4). <https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6666&context=igc>

- Salvador, A. (2007). *Efectos del estrés calórico en vacas lecheras*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/53-vacas_lecheras.pdf
- Saravia, C., & de Souza, R. (2023). ¿Se incrementó la ocurrencia de olas de calor en el siglo XXI con respecto a los últimos 30 años del siglo XX? Estudios de casos Paysandú y La Estanzuela, Colonia, Uruguay. En G. Cruz, A. Picción, & C. Simon (Eds.), *¿Qué pasa en el pago? Del calor al frío y de la sequía a la inundación en Uruguay* (pp. 108-123). <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-12/Que-pasa-en-el-pago.-Del-calor-al-frio-y-de-la-sequia-a-la-inundacion-en-Uruguay.pdf>
- Simeone, A., Beretta, V., Elizalde, J. C., Cortazzo, D., & Viera, G. (2010). La problemática del verano en la recría y engorde de ganado de carne en condiciones de pastoreo y de corral. En A. Simeone & V. Beretta (Eds.), *12º Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Ganadería a pasto, feedlot e Industria frigorífica: ¿Es posible una integración de tipo "ganar-ganar" en la cadena de la carne?* (pp. 56-64). UPIC. <http://www.upic.com.uy/assets/pdf/upic-2010.pdf>
- Thom, E. C. (1959). The Discomfort Index. *Weatherwise*, 12(2), 57-61. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- Wetting cattle to alleviate heat stress on ships*. (2004). Meat and Livestock Australia. <https://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/extensions-training-and-tools/creative-commons/wetting-cattle-to-alleviate-heat-stress-on-ships---cc.pdf>
- World Meteorological Organization. (s.f.). *Heatwave*. <https://wmo.int/topics/heatwave>
- Zhou, M., Groot Koerkamp, P. W. G., Huynh, T. T. T., & Aarnink, A. J. A. (2023). Evaporative water loss from dairy cows in climate-controlled respiration chambers. *Journal of Dairy Science*, 106(3), 2035-2043. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22489>

8 Anexos

Tabla A1*Medias por raza (\pm error estándar) de la temperatura rectal (T_e) durante el verano*

| Parámetro | ITH | Drakensb | | | | | |
|-----------|-----|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | Afrikaner (n=10) | Bonsmara (n=10) | Braford (n=10) | Charolais (n=10) | erger (n=10) | Simmental er (n=10) |
| T_e 1 | 73 | 39.45 \pm 0.18 | 39.39 \pm 0.07 | 39.50 \pm 0.17 | 39.60 \pm 0.06 | 39.43 \pm 0.09 | 39.40 \pm 0.07 |
| T_e 2 | 78 | 39.43 \pm 0.20 | 39.34 \pm 0.05 | 39.53 \pm 0.21 | 39.44 \pm 0.06 | 39.37 \pm 0.09 | 39.59 \pm 0.15 |
| T_e 3 | 80 | 39.26 \pm 0.09 | 39.23 \pm 0.04 | 39.40 \pm 0.15 | 39.56 \pm 0.12 | 39.38 \pm 0.17 | 39.59 \pm 0.14 |
| T_e 4 | 77 | 39.18 ^a \pm 0.08 | 39.20 ^a \pm 0.06 | 39.38 ^{ab} \pm 0.13 | 39.74 ^b \pm 0.18 | 39.26 ^a \pm 0.04 | 39.54 ^{ab} \pm 0.08 |
| T_e 5 | 78 | 39.22 ^a \pm 0.09 | 39.52 ^{ab} \pm 0.14 | 39.57 ^{ab} \pm 0.19 | 39.81 ^b \pm 0.04 | 39.56 ^{ab} \pm 0.06 | 39.72 ^b \pm 0.09 |
| T_e 6 | 69 | 38.88 ^a \pm 0.14 | 39.01 ^{ab} \pm 0.05 | 38.95 ^{ab} \pm 0.05 | 39.30 ^b \pm 0.10 | 38.95 ^{ab} \pm 0.07 | 39.26 ^b \pm 0.06 |
| T_e 7 | 69 | 38.79 ^a \pm 0.58 | 38.93 ^{ab} \pm 0.05 | 38.85 ^a \pm 0.05 | 39.25 ^c \pm 0.04 | 38.85 ^a \pm 0.06 | 39.11 ^{bc} \pm 0.07 |
| T_e 8 | 70 | 38.91 ^a \pm 0.04 | 39.00 ^{abc} \pm 0.05 | 38.99 ^{ab} \pm 0.10 | 39.21 ^{bc} \pm 0.03 | 38.90 ^a \pm 0.07 | 39.26 ^c \pm 0.07 |
| T_e 9 | 76 | 39.06 ^a \pm 0.05 | 39.07 ^a \pm 0.05 | 38.96 ^a \pm 0.06 | 39.37 ^b \pm 0.05 | 39.13 ^{ab} \pm 0.06 | 39.36 ^b \pm 0.08 |
| T_e 10 | 78 | 39.31 ^{ab} \pm 0.08 | 39.51 ^{ab} \pm 0.15 | 39.17 ^a \pm 0.06 | 39.74 ^b \pm 0.13 | 39.34 ^{ab} \pm 0.11 | 39.56 ^{ab} \pm 0.07 |
| T_e 11 | 81 | 39.18 ^a \pm 0.09 | - | 39.16 ^a \pm 0.07 | 39.47 ^b \pm 0.04 | 39.20 ^a \pm 0.03 | - |
| T_e 12 | 80 | 39.03 ^a \pm 0.05 | - | 38.97 ^a \pm 0.05 | 39.41 ^b \pm 0.05 | 39.04 ^a \pm 0.05 | - |
| T_e 13 | 80 | 39.08 ^a \pm | - | 39.09 ^a \pm | 39.56 ^b \pm | 39.09 ^a \pm | - |

| | | | | | | | |
|-------------------|----|-------------------------------|---|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---|
| | | 0.04 | | 0.07 | 0.06 | 0.04 | |
| T _e 14 | 81 | 39.11 ^a ± 0.06 | - | 39.05 ^a ± 0.07 | 39.72 ^b ± 0.08 | 38.98 ^a ± 0.05 | - |
| T _e 15 | 73 | 39.11 ^a ± 0.05 | - | 38.95 ^a ± 0.06 | 39.55 ^b ± 0.06 | 39.04 ^a ± 0.07 | - |
| T _e 16 | 80 | 38.96 ± 0.13 | - | 39.35 ± 0.23 | 39.60 ± 0.25 | 39.03 ± 0.10 | - |
| T _e 17 | 79 | 39.00 ^{ab} ± 0.10 | - | 38.83 ^a ± 0.06 | 39.21 ^b ± 0.05 | 38.97 ^{ab} ± 0.15 | - |

Nota. Medias en la misma fila con diferentes superíndices difieren significativamente ($P < 0.01$). Adaptado de Foster et al. (2009).

8.1 Bibliografía Anexo

Foster, L., Fourie, P., & Naser, F. (2009). Effect of heat stress on six beef breeds in the Zastron district: The significance of breed, coat colour and coat type. *South African Journal of Animal Science*, 39(5), 224-228.
https://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-15892009000500053