



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados

**EFFECTO DE ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN FÍSICA Y MANEJO
DE LA DIETA DEL ESTRÉS CALÓRICO EN EL DESEMPEÑO DE
VAQUILLONAS ANGUS EN ENGORDE A CORRAL**

SOFÍA BELÉN BALANSA BENÍTEZ

TESIS DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL

URUGUAY

2025



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados

**EFFECTO DE ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN FÍSICA Y MANEJO
DE LA DIETA DEL ESTRÉS CALÓRICO EN EL DESEMPEÑO DE
VAQUILLONAS ANGUS EN ENGORDE A CORRAL**

SOFÍA BELÉN BALANSA BENÍTEZ

Alejandro La Manna
Director de Tesis

Georgget Banchero
Co-director

2025

INTEGRACIÓN DEL TRIBUNAL DE

DEFENSA DE TESIS

Analía Pérez; PhD

Facultad de Veterinaria

Universidad de la República – Uruguay

Irene Ceconi; PhD

Área de Investigación en Producción Animal

EEA INTA General Villegas – Argentina

José Arroquy; PhD

INTA – EEA Cesárea

CONICET

Universidad Nacional del Sur. Categoría II. – Argentina

URUGUAY

2025



ACTA DE DEFENSA DE TESIS DE MAESTRIA

Materia: 10002 TESIS DE MAESTRIA	Orientación: Producción Animal.	
Período: mayo 2025		
Fecha evaluación: 29/05/2025	Hora: 09:00	Lugar: Zoom

Tribunal:
Presidente: Analía Pérez Ruchel
2° Integrante: José Arroquy
3° Integrante: Irene Ceconi.

C.I.	Nombre	Concepto	Nota
D.I.4247803	Sofía Belén Balansa Benítez	Muy Bueno	MB

Nota: La calificación mínima para aprobar la defensa es Aceptable (A)

TRIBUNAL

FIRMA

Analía Pérez Ruchel

Irene Ceconi

José Arroquy

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen María, por guiarme y haberme permitido llegar a la meta deseada.

A mis padres Marta y Bernard, por el amor, acompañamiento y apoyo incondicional a lo largo de los años, en especial los meses de Maestría que me apoyaron desde la distancia.

A mis hermanos Bernard, Edith, André y mi sobrina Vittoria por el amor, la comprensión y tolerancia de siempre.

A INIA (La Estanzuela) y a la Universidad de la República del Uruguay, por la oportunidad que me brindaron para mi formación profesional.

Al Doctor Gabriel García Pintos por su acompañamiento, apoyo y confianza puesta en mi persona y profesionalismo.

A mis orientadores Ing. Agr. PhD Alejandro La Manna y la Dr. PhD Georgget Bancho por las orientaciones brindadas, su tiempo, paciencia y predisposición de siempre para la elaboración de este trabajo de investigación.

A la empresa ‘El Impulso, Marfrig’ por el apoyo, colaboración y compromiso en este proceso, así como la rápida respuesta ante cualquier inquietud.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xi
RESUMEN	xii
SUMMARY	xiii
1. INTRODUCCIÓN	14
2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS	16
2.1. Introducción	16
2.2. Características climáticas del Uruguay	17
2.2.1. Factores climáticos de mayor relevancia	19
2.3. Efecto del calor en el animal.....	19
2.3.1. Fisiología Animal.....	20
2.3.1.1. Vías de eliminación del calor	21
2.3.1.2. Comportamentales y de rendimiento	24
2.3.1.3. Efecto de la dieta	25
2.3.2. Síntomas de los tipos o etapas del estrés por calor	26
2.4. Índice de temperatura-humedad (THI)	27
2.5. Formas de mitigar el calor	28
2.5.1. Consumo de alimento.....	28
2.5.2. Ingesta de agua	28
2.5.3. Cambio del comportamiento	29
2.6. Estrategias de mitigación del calor	31
2.6.1. Sombra	31
2.6.2. Aspersión.....	32
2.6.3. Combinación de ambos: aspersión + sombra.....	33
2.6.4. Modificación de la dieta.....	33
2.7. Efecto del estrés por calor sobre la calidad de la carne	36
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	37
3.1. Planteamiento del problema.....	37

3.2.	Hipótesis	38
3.3.	Objetivo General.....	38
3.4.	Objetivos Específicos	38
4.	ESTRATEGIA DE LA INVESTIGACIÓN	39
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	40
5.1.	Localización y periodo experimental.....	40
5.2.	Características edafoclimáticas	40
5.3.	Población de unidades	40
5.4.	Diseño experimental y tratamiento	40
5.5.	Instalaciones.....	41
5.6	Animales	41
5.6.1	Evaluación de peso vivo	41
5.6.2	Manejo de la dieta.....	42
5.6.3	Ingesta de agua.....	44
5.6.4	Variables fisiológicas.....	45
5.6.5	Variables de comportamiento	45
5.6.6	Atributos de la canal y de la carne	45
5.11.	Método de análisis e interpretación	46
6.	RESULTADOS.....	49
6.1.	Caracterización del ITH.....	49
6.2.	Desempeño productivo	49
6.3.	Consumo de agua.....	50
6.4.	Frecuencia respiratoria y jadeo	51
6.5.	Comportamiento animal	53
6.6.	Atributos de la canal y de la carne	55
7.	DISCUSIÓN.....	57
8.	CONCLUSIONES	64
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
10.	ANEXOS	77

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Fórmula para el cálculo del índice de temperatura y humedad (Thorn 1959)..	41
Cuadro 2. Características de la dieta FA.	43
Cuadro 3. Características de la dieta FN.	44
Cuadro 4. Escala de jadeo.	45
Cuadro 5. Desempeño productivo de vaquillonas Angus bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes.	49
Cuadro 6. Consumo de agua de vaquillonas Angus bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes.....	50
Cuadro 7. Frecuencia respiratoria y jadeo de vaquillonas Angus bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes.	51
Cuadro 8. Frecuencia respiratoria y jadeo de vaquillonas Angus bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes.	52
Cuadro 9. Comportamiento animal de vaquillonas Angus bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes.	53
Cuadro 10. Comportamiento animal de vaquillonas Angus bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes.	54
Cuadro 11. Atributos de la canal y de la carne de vaquillonas Angus bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes.....	55
Cuadro 12. Atributos de la canal y de la carne de vaquillonas Angus bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de cajas para la temperatura mínima media mensual para dos períodos en las regiones norte y sur del país.	18
Figura 2. Evolución y tendencia de la temperatura media anual en Uruguay.	18
Figura 3. Variación de la temperatura corporal con un aumento o disminución de la temperatura ambiental. Ehrlemark y Sallvik (1996).	20
Figura 4. Descripción de los efectos del estrés térmico en el comportamiento y respuestas fisiológicas del ganado. 1 Radiación solar directa de onda corta; 2 Radiación difusa; 3 Radiación de onda corta reflejada por las nubes; 4 Radiación de onda corta reflejada desde la superficie del suelo; 5 Radiación celeste de onda corta; 6 Intercambiadores de calor por conducción; 7 Radiación de onda larga emitida por los alrededores; 8 Intercambio de calor por radiación de onda larga; 9 Pérdida de calor por evaporación cutánea; 10 Intercambio de calor por convección; 11 Pérdida de calor por evaporación pulmonar.	23
Figura 5. Efectos del calor sobre el comportamiento bovino (Toledo, I., & Dahl).....	25
Figura 6. Imagen por drone del sector de investigación de “El Impulso”, Marfrig	40

LISTA DE ABREVIATURAS

GPV: ganancia de peso vivo.

FR: frecuencia respiratoria.

DMI: consumo de materia seca.

RPM: respiraciones por minuto.

TOEP: toeplitz.

AR(1): autoregressive.

CS: compound symmetry.

PVI: peso vivo inicial.

AIC: estadístico que evalúa la calidad relativa de un modelo considerando la función de verosimilitud y la cantidad de parámetros estimados.

RESUMEN

El presente trabajo evaluó estrategias físicas y nutricionales de mitigación del estrés por calor sobre el desempeño productivo, fisiología, comportamiento y calidad de la carne de vaquillonas Angus en engorde a corral. El diseño estadístico fue factorial 4 x 2 con 2 factores: mitigación y dieta. Dentro de mitigación se evaluaron cuatro tratamientos (control=sol, sombra, aspersión y combinado: sombra y aspersión) y dos dietas (fibra normal FN y fibra alta FA), resultando 8 tratamientos donde la unidad experimental fue el corral en un arreglo de bloques al azar. Treinta y dos vaquillonas Angus con un peso promedio inicial de 416 kg, fueron, bloqueadas por peso, asignadas a uno de los ocho tratamientos con 4 réplicas cada uno en corrales individuales. Cuando el ITH se preveía que iba a superar 75, se prendían los aspersores y se cambiaba la dieta a FA; volviéndose a FN cuando las condiciones se revertían. Los principales resultados indican que las vaquillonas con acceso a mitigación física del calor tuvieron un peso final mayor (+31kg; $P<0.05$), una mejor ganancia diaria y consumo de materia seca ($P<0.05$) que las vaquillonas expuestas al sol, mientras que no hubo diferencia significativa en eficiencia de conversión del alimento entre tratamientos. En cuanto a la FR y jadeo, se registró interacción entre mitigación y dieta en los dos últimos momentos de la medición, coincidiendo con el aumento de la temperatura. La dieta no tuvo efecto sobre la FR y jadeo en los dos primeros momentos de la medición, aspersión y combinado redujeron FR en momento 12 mientras que los tres métodos de mitigación redujeron el jadeo en comparación con las vaquillonas expuestas al sol ($P<0,05$). Las vaquillonas con acceso a sombra y combinado aumentaron el comportamiento de ingesta de alimento respecto al control, mientras que esté no difirió de las vaquillonas con acceso a aspersión. El tiempo destinado al consumo de agua fue superior ($P<0.05$) en los animales testigo frente a los tratados, así mismo en las dietas hubo una disminución en el tiempo destinado al consumo de agua ($P<0.05$) a favor de FN. La actividad de rumia fue mayor en las vaquillonas del tratamiento combinado y aspersión que en el grupo sombra ($P<0,05$), los cuales fueron superior al testigo ($P<0,05$). No hubo efecto ($P>0.05$) del nivel de fibra sobre el comportamiento. Las vaquillonas con acceso a mitigación combinada o sombra mostraron mayores ($P<0,05$) porcentajes de marmoleo y luminosidad de la carne con respecto a las vaquillonas que fueron expuestas al sol y a la aspersión. En conclusión, los animales con acceso a alguna estrategia de mitigación física del estrés por calor tendrán un mejor desempeño productivo (aumento en la ganancia de peso y mejora en la eficiencia de conversión) y experimentarán un mayor bienestar en comparación con aquellos que no cuentan con ninguna estrategia durante el verano (con ITH medio de 72,5 unidades) en Uruguay. Sin embargo, no se evidenciaron beneficios claros de manejar las dietas en estas condiciones.

SUMMARY

The present work evaluated physical and nutritional heat stress mitigation strategies on the productive performance, physiology, behavior and quality of Angus heifer meat in free-range feeding. The statistical design was 4 x 2 factorial with 2 factors: mitigation and diet. Within mitigation, four treatments were evaluated (control=sun, shade, sprinkling and combined: shade and sprinkling) and two diets (normal fiber FN and high fiber FA) were evaluated, resulting in 8 treatments where the experimental unit was the pen in an arrangement of random blocks. Thirty-two Angus heifers with an initial average weight of 416 kg were, weight-locked, assigned to one of eight treatments with 4 replicates each in individual pens. When the ITH was expected to exceed 75, the sprinklers were turned on and the diet was changed to FA; turning to FN when conditions reversed. The main results indicate that heifers with access to physical heat mitigation had a higher final weight (+31 kg; $P<0.05$), a better daily gain and dry matter intake ($P<0.05$) than heifers exposed to the sun, while there was no significant difference in feed conversion efficiency between treatments. Regarding RF and panting, interaction between mitigation and diet was recorded in the last two moments of the measurement, coinciding with the increase in temperature. Diet had no effect on RF and panting at the first two moments of measurement, spraying and combined reduced RF at time 12 while all three mitigation methods reduced panting compared to sun-exposed heifers ($P<0.05$). Heifers with access to shade and combined increased feed intake behavior compared to control, while this did not differ from heifers with access to sprinkling. The time spent on water consumption was higher ($P<0.05$) in the control animals compared to the treated animals, likewise in the diets there was a decrease in the time spent on water consumption ($P<0.05$) in favor of FN. Rumination activity was higher in heifers from the combined treatment and spraying than in the shadow group ($P<0.05$), which were higher than the control group ($P<0.05$). There was no effect ($P>0.05$) of fiber level on behavior. Heifers with access to combined mitigation or shade showed higher ($P<0.05$) percentages of marbling and meat luminosity compared to heifers that were exposed to sun and spraying. In conclusion, animals with access to some physical mitigation strategy for heat stress will have a better productive performance (increase in weight gain and improvement in conversion efficiency) and will experience greater welfare compared to those that do not have any strategy during the summer (with average ITH of 72.5 units) in Uruguay. However, no clear benefits of managing diets under these conditions were evidenced.

1. INTRODUCCIÓN

Uruguay no se encuentra en una región de estrés calórico severo para el ganado, sin embargo, ocurren eventos que afectan el desempeño productivo, la salud y el comportamiento animal, llegando a casos extremos a la muerte de estos (Portal INIA Previsión de estrés calórico en bovinos, 2024). El estrés térmico produce un menor desempeño y bienestar del ganado en corrales de engorde, por ello es necesario la planificación para proporcionar estrategias de mitigación físicas eficaces, desarrollar planes para mejorar el rendimiento, la eficiencia y el consumo del alimento en los animales, además de prevenir la muerte debido al calor. Dentro de estas estrategias para mitigar el estrés térmico se encuentra la modificación física del ambiente a través de la provisión de sombras (Fuquay et al., 1981) o aspersión (Gaughan et al., 2004).

A su vez, también se podría disminuir el incremento calórico manejando la dieta que se le ofrece al animal (Mader et al., 1999). La zona de confort térmico para bovinos con acceso a dietas de *feedlot ad libitum* se encuentra entre -10 y 20 °C (F.A.S.S., 2010). Sin embargo, la humedad relativa, la radiación y la velocidad del viento son cruciales al momento de determinar dicha zona de confort (Arias et al., 2008; Gaughan et al., 2008).

A diferencia del ganado en pastoreo, que tiene la capacidad de buscar sombra, aire y agua (tajamares, cachimbas) para refrescarse, el ganado de engorde a corral experimenta la incidencia del sol, falta de aire/brisa, pero más importante, recibe el calor radiante de la tierra o la superficie de concreto. El cemento y la tierra desnuda son factores clave que afectan el bienestar animal, el comportamiento de los animales y el manejo de los sistemas productivos. En Uruguay, con un clima templado y variaciones estacionales marcadas, estas temperaturas pueden variar considerablemente dependiendo de las condiciones ambientales. Durante los días soleados, el pasto puede tener una temperatura de 2 a 5 °C menor que el aire circundante (Aello et al., 2012).

El ganado bovino tiene una capacidad limitada para disipar el exceso de calor en condiciones de altas temperaturas, lo que puede comprometer su bienestar y rendimiento productivo. Su principal mecanismo de regulación térmica es la sudoración. En estas condiciones, los animales comienzan a experimentar estrés térmico (Armstrong, 1994; Davis, et al., 2003), llevando así a una disminución en el desempeño productivo.

Existen tres formas de mitigar el estrés calórico, a través de la modificación del ambiente, dieta o genética, los dos primeros afectan directamente el consumo, lo que, a su vez, incide en la eficiencia y el comportamiento del animal. Además, los dos primeros factores pueden convertirse en estrategias de manejo para el ganado en condiciones ambientales desfavorables, como la implementación de medidas físicas para mitigar el calor y cambios en la dieta (West, 2003). Las razas de origen cebú presentan una mayor tolerancia a las temperaturas altas, mientras que los animales con mayor grado de terminación (mayor cobertura grasa) son más susceptibles al estrés térmico (Pordomingo, 2013).

Banchero et al. (2016) realizaron una encuesta en 71 corrales de engorde comerciales en Uruguay, observaron que el 68% de los corrales no tienen ninguna estrategia de mitigación de estrés calórico, un 6% solo tiene acceso a sombra en alguno de sus corrales y el 26% restante tiene sombra en sus corrales. Simeone et al., (2010) evaluaron el efecto de la sombra en novillos terminados a corral, donde el efecto de la sombra incrementó 20% la ganancia media diaria (sol: 1,17 vs. sombra: 1,40 kg/d) y la conversión alimenticia (sol: 6,8 vs. sombra: 5,7 kg MS/kg PV).

Canozzi et al. (2022) analizaron tres experimentos en los que se comparó el acceso de los animales a sombra o su ausencia. Los resultados muestran que los novillos con acceso a sombra tuvieron un desempeño significativamente superior (un promedio de 8 a 12%) a aquellos que no tuvieron acceso a la misma. Davis et al. (2003) mencionan que iniciar el mojado previo a los animales en los momentos de calor ha mejorado el desempeño de los animales. Es importante recalcar que la aspersión posibilita la acumulación de barro. No se ha encontrado en la literatura investigaciones que contribuyan la combinación de estas 2 formas de mitigación (aspersión y sombra); si las dos por separado.

El presente trabajo tiene como objetivo general evaluar tres estrategias de mitigación física (sombra, aspersión y la combinación de ambas) comparado a no contar con mitigación del calor (sol) combinado con dos dietas con diferente contenido de fibra sobre el desempeño productivo, fisiología, comportamiento y calidad de la carne de vaquillonas Angus en engorde a corral.

2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

2.1. Introducción

En diversas regiones a nivel global, la práctica del engorde de ganado en corrales al aire libre ha ganado popularidad. Este método es particularmente prevalente en áreas como América del Norte, América del Sur y Australia, donde se pueden encontrar extensos corrales de engorde (Grandin 2016 citado por Canozzi, et al., 2022). Hay evidencia sólida que indica que el ganado es susceptible a los efectos del clima. En regiones tropicales, el ganado que se enfrenta a temperaturas elevadas, especialmente cuando se combinan con altos niveles de humedad, sufre de estrés térmico. Este estrés tiene repercusiones adversas en la producción de leche (Mbuthia et al., 2021), así como en la salud y fertilidad (Bagath et al., 2019; Herbut et al., 2019) y en el crecimiento (Brown Brandl, 2008).

Por lo tanto, el término estrés por calor (EC) o estrés térmico se refiere al conjunto de alteraciones fisiológicas que se activan en los animales cuando están expuestos a ambientes con temperaturas elevadas (Scholtz et al., 2013). Estas alteraciones resultan en una disminución progresiva de la eficiencia productiva, manifestándose en menores ganancias de peso, pérdida de peso, reducción en la producción de leche y un bajo rendimiento reproductivo. En condiciones extremas, el EC puede incluso conducir a la muerte de los animales (Armendano, 2015). Diversas medidas han sido empleadas para evaluar el estrés por calor en animales, abarcando respuestas morfológicas, conductuales, fisiológicas, neuroendocrinas, bioquímicas sanguíneas, metabólicas, celulares y moleculares. Sin embargo, la mayoría de estas técnicas carecen de aplicabilidad práctica inmediata en el ámbito de campo (Sejian et al., 2018 citado por Canozzi et al., 2022). No obstante, el monitoreo de la frecuencia respiratoria, que debe ser evaluada junto con el jadeo, resulta útil y muestra un aumento inmediato en respuesta al estrés por calor.

Las temperaturas elevadas suelen provocar una disminución en el consumo de alimentos, mientras que las bajas temperaturas tienden a aumentarlo (Wagner, 1988). Para mitigar el estrés térmico en el ganado, se han propuesto diversas estrategias que incluyen la modificación física del entorno, como la implementación de sistemas de aspersión de agua o la provisión de sombra (Mader et al., 2003). La implementación de sistemas de rociado para el ganado en engorde sometido a estrés térmico ha mostrado mejoras en el rendimiento en los climas cálidos y secos de Arizona (Morrison et al., 1981). Además, se ha demostrado que estos métodos contribuyen a la reducción de la temperatura corporal (Armstrong, 1994) y a la disminución de las tasas de respiración (Chen et al., 1993).

Asimismo, ajustar el horario y/o la cantidad de la alimentación ha demostrado ser una estrategia eficaz para mitigar el estrés térmico. Proporcionar el alimento al ganado durante las horas más tardías del día ayuda a reducir la coincidencia entre el pico máximo de carga de calor metabólico y el calor del ambiente (Mader y Davis, 2004). Se ha comprobado que la provisión de sombra reduce la respuesta fisiológica del ganado al estrés térmico. El ganado que tiene acceso a sombra presenta tasa de respiración, temperatura corporal y puntuación

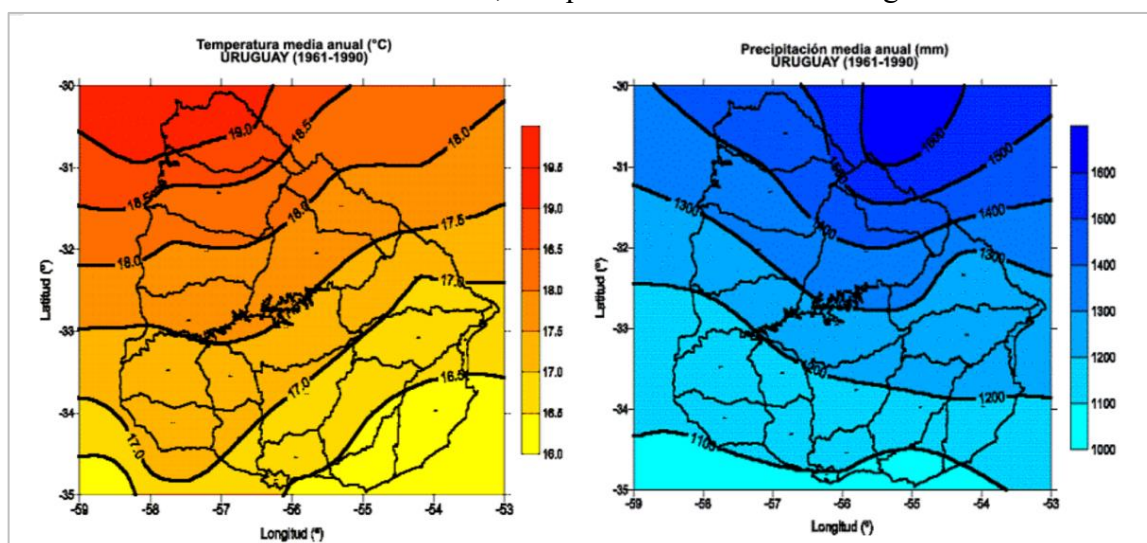
de jadeo más bajas en comparación con el ganado sin sombra, especialmente en climas de elevado riesgo de estrés por calor (Edwards – Callaway et al., 2021).

Por ende, la presencia de sombra sobre el ganado puede disminuir la carga de calor radiante en un 45% (Arias et al., 2008). Investigaciones en nutrición han revelado diferencias significativas en el rendimiento del ganado en función de las condiciones de calor ambiental y el manejo, tales como la ubicación del corral de engorde, la carga de calor (en términos de duración, magnitud y tasa de recuperación), el genotipo del ganado, la condición corporal, el horario de alimentación, entre otros factores (Hahn et al., 1963 citado por Canozzi et al., 2022).

2.2. Características climáticas del Uruguay

El clima en la región es relativamente uniforme, sin diferencias significativas en los extremos de temperatura. Se caracteriza por ser templado, con precipitaciones abundantes; por ejemplo, Montevideo recibe en promedio 1000 mm anuales, mientras que Rivera recibe alrededor de 1300 mm al año (Instituto Uruguayo de Meteorología, 2022).

La temperatura media anual en todo el país ha aumentado aproximadamente 0,8 °C al comparar las décadas de 1961-1980 y 1995-2015. El incremento en la temperatura se observa en todas las estaciones del año, aunque existen diferencias regionales.



Fuente de datos: Dirección Nacional de Meteorología del Uruguay.

La región este del país experimenta un calentamiento superior a 1,1 °C, mientras que el litoral oeste y sur presentan un calentamiento más moderado. El área metropolitana muestra un aumento de temperatura cercano a 0,7 °C (Barreiro et al., 2021).

En Montevideo, la temperatura promedio es de 16,5 °C, mientras que en otras áreas del país es aproximadamente 2 °C más alta. La temperatura promedio anual en Uruguay muestra una tendencia general de suroeste a noreste, con una media nacional de 17,5 °C y una isoterma promedio más alta de 19,0 °C en Artigas. En la costa atlántica de Rocha, la temperatura media es de 16,0 °C (Instituto Uruguayo de Meteorología, 2022).

Según Barreiro et al. (2019), la distribución de las temperaturas mínimas medias mensuales en el norte y sur del país es prácticamente simétrica, con medianas cercanas a los 12°C durante el período 1961-1989 (figura 1). Este patrón refleja un aumento en las temperaturas, ya que la mediana presenta valores más altos durante el intervalo 1990-2017, especialmente en la región norte.

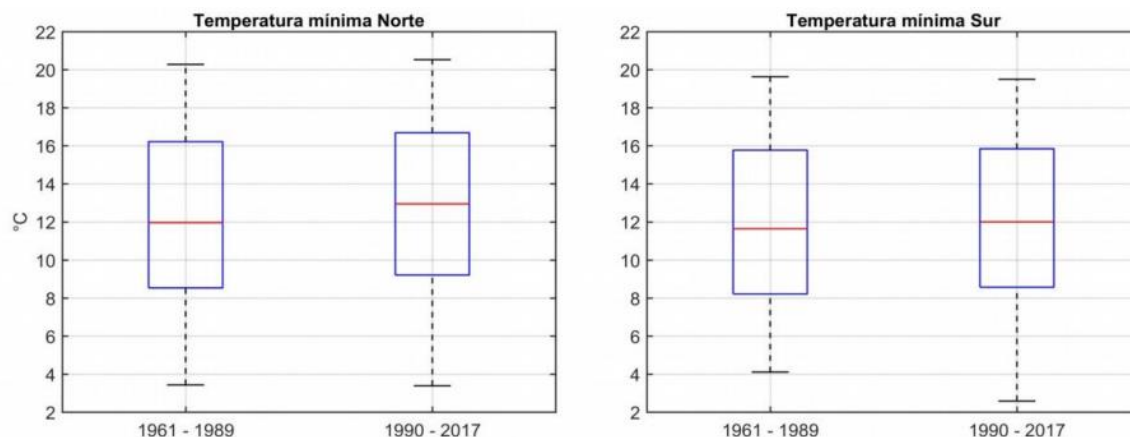


Figura 1. Diagrama de cajas para la temperatura mínima media mensual para dos períodos en las regiones norte y sur del país.

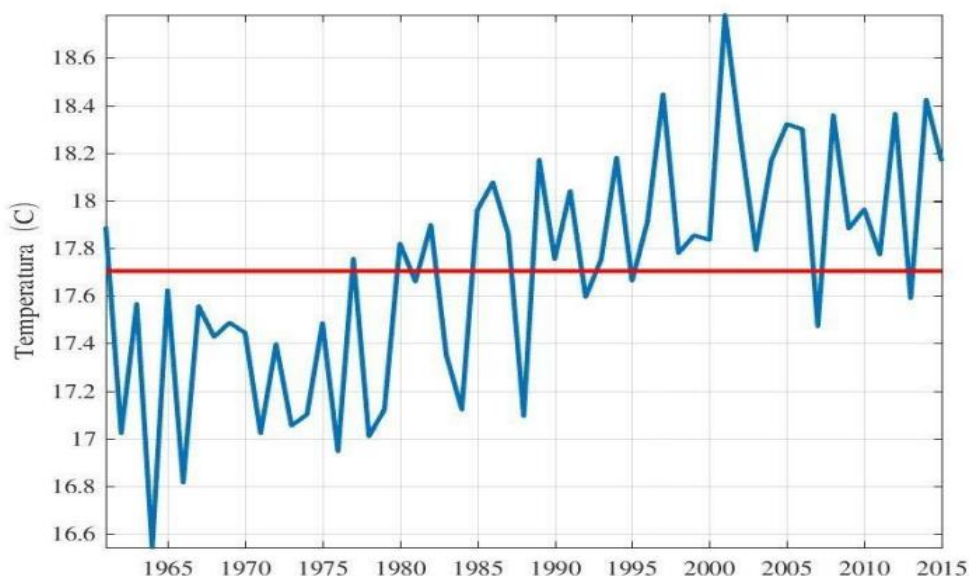


Figura 2. Evolución y tendencia de la temperatura media anual en Uruguay.

La presión atmosférica varía uniformemente en todo el país, con un promedio de 1015,5 hPa. Las isobaras (líneas de igual presión) se extienden de oeste a este. La presión promedio en Uruguay oscila entre 1016,5 hPa en Treinta y Tres y Cerro Largo, y 1014,5 hPa en la costa oeste. El viento predominante proviene del noreste, con velocidades promedio de 4 m/s en la región central y hasta 7 m/s en la costa suroeste. Los vientos superiores a 30 m/s son relativamente comunes (Instituto Uruguayo de Meteorología, 2022).

La insolación, medida con un heliógrafo ubicado a 1,5 metros sobre el suelo sobre una superficie de césped, se calcula sumando las horas diarias de exposición solar. La distribución mensual acumulada de insolación presenta una tendencia creciente de sureste a

noroeste en Uruguay. El promedio anual de insolación en el país es de aproximadamente 2.500 horas, con un máximo registrado en Salto (2.600 horas) y un mínimo en la costa. (Instituto Uruguayo de Meteorología, 2022).

2.2.1. Factores climáticos de mayor relevancia

Los factores físico-ambientales que influyen en el ganado fueron definidos por Hahn et al. (2003) y consisten en una interacción compleja entre la temperatura del aire, la humedad relativa, la radiación, la velocidad del viento, la precipitación, la presión atmosférica, la luz ultravioleta y la presencia de polvo.

Las investigaciones indican que las temperaturas del aire por debajo de -0,5 °C y por encima de 20–26 °C generan efectos adversos en el ganado lechero (West, 2003).

2.3. Efecto del calor en el animal

El ganado bovino, al igual que otros animales domésticos, es homeotermo, lo que implica que su temperatura corporal permanece relativamente constante a pesar de variaciones en la temperatura ambiental (Bavera, G. et al., 2003; Collier y Gebremedhin, 2015). Para mantener esta estabilidad térmica, especialmente en entornos de fluctuación térmica, el cuerpo del animal debe ser más caliente que su entorno inmediato, lo que facilita el flujo de calor hacia áreas más frías. El funcionamiento eficiente de este organismo depende de una temperatura corporal estable (Bavera, G. et al., 2003). En ambientes fríos, el bovino requiere mayores cantidades de alimento para generar calor corporal, mientras que en climas cálidos necesita un mayor consumo de agua para enfriarse a través de la evaporación. Por lo tanto, la falta de recursos como alimento y agua son los principales factores ambientales que pueden comprometer su homeotermia en condiciones climáticas extremas (Bavera, G. et al., 2003).

Por ende, el ganado se adapta a diversos factores ambientales para mantener la homeostasis mediante modificaciones fisiológicas y conductuales, pero si la exposición se prolonga, estas adaptaciones pueden comprometer el bienestar animal, ya que la hipertermia crónica o el estrés por calor afectan negativamente a la industria de la carne al reducir el rendimiento, la eficiencia reproductiva y alterar la salud, el bienestar y el comportamiento de los animales (Edwards-Callaway et al., 2021).

El estrés provocado por calor constituye uno de los principales impedimentos para una producción eficiente, impactando de manera adversa en los organismos afectados. Este tipo de estrés provoca un incremento en la temperatura corporal, lo que activa el eje hipotálamo-hipófisis, desencadenando un aumento en el consumo de agua y una reducción en la ingesta de materia seca, lo cual conduce a la pérdida de peso y al retraso en el desarrollo corporal; en casos extremos, puede llegar a causar la muerte del animal (Santos et al., 2021).

Dentro de rangos limitados, el ganado es capaz de mantener una temperatura corporal central relativamente constante, lo que evidencia una capacidad eficiente de termorregulación bajo condiciones controladas (Davis et al., 2003). Cuando el calor se convierte en un factor de

incomodidad, los animales activan mecanismos termorreguladores que permiten mantener la temperatura interna dentro de límites fisiológicos aceptables (Santos et al., 2021).

Las respuestas iniciales al estrés térmico en el ganado son mecanismos de adaptación homeostática que incluyen un aumento en la ingesta de agua, sudoración y frecuencia respiratoria, así como una reducción en la frecuencia cardíaca y en la ingesta de alimento. Estas respuestas buscan mantener el equilibrio interno del organismo frente al aumento de la carga de calor (Sammad et al., 2020). Si la exposición al calor persiste, se produce una aclimatación progresiva al estrés térmico, siempre y cuando el animal pueda sobrevivir a la situación inicial. Sin embargo, esta adaptación puede no ser suficiente para mantener la homeostasis si el estrés se prolonga excesivamente. En tales casos, el animal recurre a mecanismos adicionales para disipar la carga de calor acumulada y adaptarse a las nuevas condiciones de estrés térmico (Sammad et al., 2020).

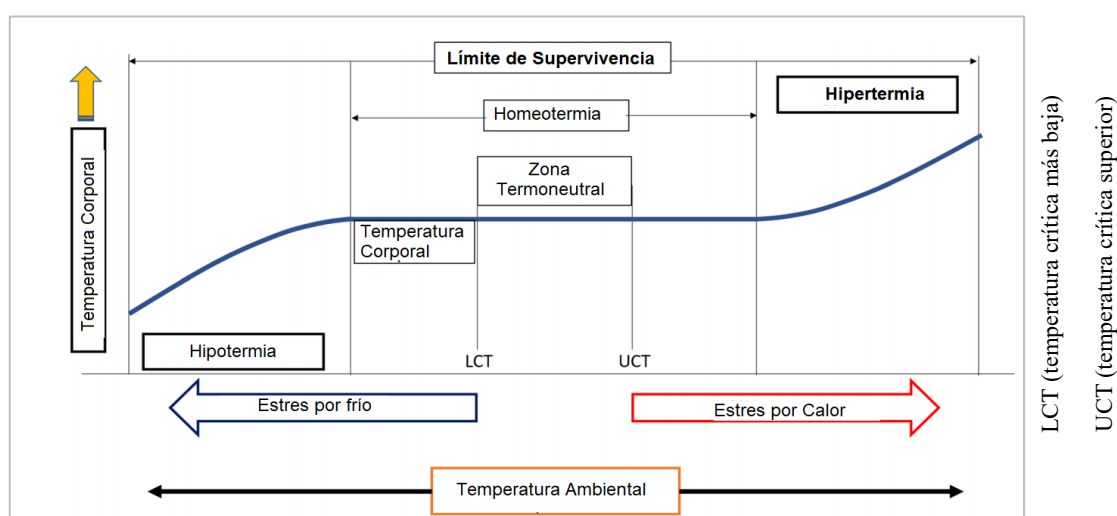


Figura 3. Variación de la temperatura corporal con un aumento o disminución de la temperatura ambiental. Adaptado de Ehrlemark y Sallvik (1996).

2.3.1. Fisiología Animal

La interacción entre el medio interno de un animal y su entorno externo es un proceso biológico de naturaleza neuronal que facilita la integración de la información ambiental externa con una respuesta eferente adecuada, como la vasoconstricción, piloerección y jadeo (Alves et al., 2017). Este proceso permite al animal mantener la estabilidad de su ambiente interno en consonancia con las variaciones del entorno externo (Alves et al., 2017). Las vías autónomas eferentes también juegan un papel crucial al conectar el entorno externo con el metabolismo celular mediante la regulación de los factores de transcripción y la actividad del sistema endocrino (Collier y Gebremedhin, 2015).

Aunque las rutas de intercambio de energía, como el calor sensible y el calor latente, son constantes, factores como la variabilidad en el tamaño corporal, la deposición de grasa, el pelaje, la actividad funcional y el número de glándulas sudoríparas influyen en la capacidad de los animales para intercambiar calor (Alves et al., 2017). En rumiantes, el intercambio de calor se realiza a través del sistema respiratorio. El incremento continuo en la capacidad

productiva de los animales domésticos ha llevado a una reducción en la plasticidad de los mecanismos termorreguladores en respuesta al calor. Sin embargo, la disponibilidad actual de estrategias de mitigación del calor, herramientas genómicas y otras prácticas ofrece la posibilidad de mejorar la plasticidad termorreguladora en animales de alta producción (Collier y Gebremedhin, 2015).

Se ha documentado que las altas temperaturas provocan una disminución en las concentraciones plasmáticas de factores clave como el factor de crecimiento similar a la insulina I (IGF-I) y la tiroxina (Oyhanart, 2017).

2.3.1.1. Vías de eliminación del calor

Para sobrevivir en condiciones ambientales extremas, los animales adaptan tanto su comportamiento como su fisiología para soportar situaciones estresantes (Arias et al., 2008). Cuando los animales se encuentran expuestos a temperaturas elevadas y radiación solar, su temperatura corporal aumenta, lo que hace necesaria la disipación del calor excesivo. Esto provoca una intensificación de la actividad fisiológica, evidenciada por un aumento en la frecuencia respiratoria, la temperatura rectal y la temperatura de la superficie corporal (Capó y Morales, 2015).

Existen tres mecanismos sensibles de transferencia de calor entre los animales y su entorno: radiación de onda larga, convección y conducción. En estos mecanismos, el gradiente de temperatura entre el cuerpo del animal y el medio ambiente determina la dirección de la transferencia de calor, ya sea pérdida o ganancia. Cuando la temperatura del animal es mayor que la del entorno, el calor se transfiere desde el animal hacia su ambiente (Clariget et al., 2018). Sin embargo, cuando la temperatura ambiental excede la temperatura corporal del animal, estos mecanismos se convierten en vías de ganancia de calor. Si este proceso ocurre en exceso, puede ocasionar daños fisiológicos y una disminución en la producción (Santos et al., 2021).

La transferencia de calor por conducción ocurre mediante el contacto directo entre dos superficies, funcionando como un proceso molecular en el que la energía, en forma de calor, se desplaza desde una zona de mayor temperatura a una de menor (Collier y Gebremedhin, 2015). En animales, como el ganado, cuando se encuentran de pie, la pérdida de calor por conducción es mínima debido a la escasa superficie de contacto. Sin embargo, al estar tumbados, el área de contacto con el suelo representa aproximadamente el 20% de la superficie corporal total, aunque es más común que los animales permanezcan de pie (Collier y Gebremedhin, 2015).

La pérdida de calor por convección en un bovino ocurre cuando el aire se mueve sobre su superficie, impulsado por el gradiente de temperatura entre el cuerpo del animal y el aire circundante. A medida que aumenta la temperatura ambiental, este gradiente disminuye, lo que reduce la eficiencia de la pérdida de calor por convección sensible. Existen dos tipos de convección: libre (o natural) y forzada (Collier y Gebremedhin, 2015). La convección libre se produce cuando la diferencia de temperatura en la capa de aire alrededor del animal genera un movimiento natural debido a cambios en la densidad del aire. La convección forzada, por

otro lado, es provocada por una diferencia de presión externa que impulsa el aire sobre el animal, frecuentemente mediante sistemas mecánicos como ventiladores (Collier y Gebremedhin, 2015).

El intercambio de calor ocurre por radiación entre dos superficies que emiten energía en forma de ondas electromagnéticas, cuya intensidad depende directamente de la temperatura de la superficie emisora. En el entorno de un animal, existen diversas fuentes de radiación térmica, como el sol, el suelo, refugios (incluyendo paredes y techos) y edificios cercanos. (Collier y Gebremedhin, 2015). Para medir adecuadamente la radiación térmica que un animal intercambia con su entorno, es necesario simplificar la complejidad de dicho entorno, considerando factores relevantes que influyen en el balance térmico del animal (Collier y Gebremedhin, 2015).

En condiciones de estrés térmico, puede observarse un incremento en la temperatura rectal (TR, °C). La frecuencia respiratoria (FR, respiraciones/min) en el ganado puede ser fácilmente monitoreada observando los movimientos de los flancos, siendo este un indicador fisiológico clave para la disipación del calor en el entorno (Santos et al., 2021). En respuesta al estrés térmico, los animales tienden a incrementar su FR para elevar la tasa de evaporación respiratoria, facilitando así la pérdida de calor hacia el ambiente (Capó y Morales, 2015).

La temperatura de la superficie corporal (TSC, °C) del ganado puede ser medida mediante sensores infrarrojos. La radiación infrarroja emitida desde la superficie del cuerpo del animal puede ser captada en diversas áreas, como el dorso, flancos, región ocular, hocico y mejillas (Alves et al., 2017). La TSC es una respuesta crucial al estrés por calor y está directamente influenciada por las condiciones ambientales, tales como la temperatura del aire y la radiación. Cuando estas variables ambientales son elevadas, la TSC tiende a aumentar, lo que induce vasodilatación. Este fenómeno se verifica mediante un aumento en el flujo sanguíneo en los capilares, lo que facilita la disipación del calor hacia el entorno (Capó y Morales, 2015).

Las características del pelaje del animal también afectan la TSC; en climas tropicales, un pelaje blanco, epidermis oscura y pelo corto y denso favorecen el equilibrio térmico. El color del pelaje es particularmente relevante en relación con la radiación, ya que, en animales con pelaje predominantemente blanco, entre el 60% y el 67% de la radiación solar es reflejada hacia el ambiente (Alves et al., 2017).

Los animales son capaces de perder calor mediante el intercambio de calor sensible y latente. El calor sensible se refiere a la energía que provoca un cambio en la temperatura de un cuerpo, mientras que el calor latente se relaciona con la energía que provoca un cambio de estado de la materia sin alterar la temperatura “Calor Sensible y Latente”. Para que se produzca el intercambio térmico a través de mecanismos sensibles, debe existir un diferencial de temperatura entre el cuerpo del animal y el ambiente; es decir, la pérdida de calor ocurre cuando la temperatura corporal del animal supera la temperatura ambiental (Collier y Gebremedhin, 2015).

El calor sensible se disipa a través de mecanismos como la conducción, convección y radiación. Cuando la temperatura ambiental iguala o excede la temperatura corporal del animal, el intercambio de calor sensible se vuelve insignificante e incluso puede convertirse en una vía de ganancia de calor (Davis et al., 2003).

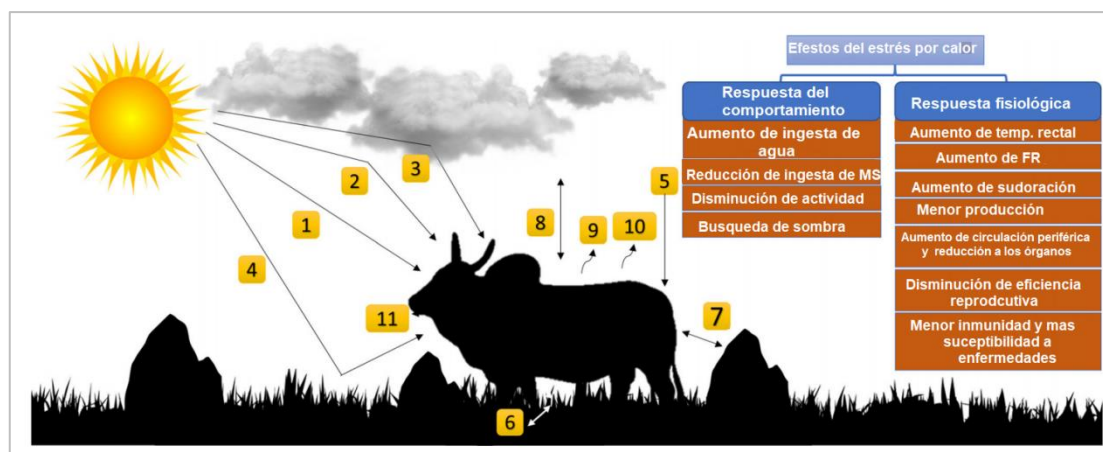


Figura 4. Descripción de los efectos del estrés térmico en el comportamiento y respuestas fisiológicas del ganado. 1 Radiación solar directa de onda corta; 2 Radiación difusa; 3 Radiación de onda corta reflejada por las nubes; 4 Radiación de onda corta reflejada desde la superficie del suelo; 5 Radiación celeste de onda corta; 6 Intercambiadores de calor por conducción; 7 Radiación de onda larga emitida por los alrededores; 8 Intercambio de calor por radiación de onda larga; 9 Pérdida de calor por evaporación cutánea; 10 Intercambio de calor por convección; 11 Pérdida de calor por evaporación pulmonar. Adaptado de Santos et al., 2021.

Mecanismos de termólisis evaporativa

La fluctuación continua de la temperatura ambiental complica la disipación del calor sensible, lo que activa mecanismos de pérdida de calor latente, como el incremento de la evaporación tanto respiratoria como cutánea (Clariget et al., 2018). Algunos estudios señalan que en bovinos adultos, la piel contribuye con aproximadamente el 85% de la disipación del calor latente, mientras que el resto se realiza mediante evaporación respiratoria (Santos et al., 2021). Sin embargo, este proceso de pérdida de calor puede verse obstaculizado en condiciones donde la humedad relativa y la temperatura del aire son elevadas, lo que puede resultar en un estrés térmico al no poder disipar adecuadamente el exceso de calor.

En climas tropicales, la sudoración es el principal mecanismo mediante el cual el ganado disipa el exceso de calor absorbido del ambiente (Davis et al., 2003). La exposición del ganado a condiciones de estrés térmico induce respuestas fisiológicas como la vasodilatación periférica y la activación de las glándulas sudoríparas en un esfuerzo por eliminar el calor corporal excedente (Alves et al., 2017).

La evaporación respiratoria es un mecanismo latente de disipación de calor que depende directamente de la tasa de respiración, ya que ocurre a través de las vías respiratorias utilizando el calor latente de la vaporización del agua para eliminar la energía térmica

corporal (Canozzi et al., 2022). El jadeo es una respuesta fisiológica común en muchos animales frente al estrés térmico, la cual intensifica la pérdida de calor por evaporación mediante el aumento de la frecuencia respiratoria y la disminución del volumen corriente, lo que a su vez incrementa la ventilación del tracto respiratorio (Santos et al., 2021).

2.3.1.2. Comportamentales y de rendimiento

El informe sobre el bienestar del ganado vacuno, publicado por el Comité Científico de Sanidad y Bienestar Animal (2001), indicó que el umbral de temperatura superior para la categoría de vaquillonas, que asegura un bienestar sostenible, es de hasta 30°C cuando la humedad es inferior al 80%, y desciende a menos de 27°C si el nivel de humedad supera ese porcentaje. El comportamiento del ganado está estrechamente vinculado a su estado de bienestar, por lo que el análisis de los cambios en el comportamiento se utiliza para identificar entornos inadecuados (Brščić et al., 2007).

Brščić et al. (2007) señalan un aumento en el tiempo de rumiación. Este fenómeno podría deberse a un esfuerzo del ganado por controlar la disminución del pH ruminal, probablemente a causa del alto contenido de almidón en la dieta y la reducción de la capacidad amortiguadora de la saliva, que podría estar relacionada con una excreción urinaria excesiva de carbono.

En resumen, los cambios de comportamiento en bovinos expuestos al estrés por calor incluyen la búsqueda de sombra para reducir la radiación solar directamente en el animal, la disminución del movimiento, la reducción del tiempo de rumiación, la rumiación en posición de pie, el pastoreo hasta la noche y un aumento en la ociosidad.

Tabla 1. Cambios de comportamiento bajo estrés por calor

Comportamiento	Cambio
Búsqueda de sombra para reducir la radiación solar	Reducción
Movimiento	Reducción
	Ociosidad
Rumia	Reducción
Modo de rumiación	Parado
Pastoreo	Nocturno

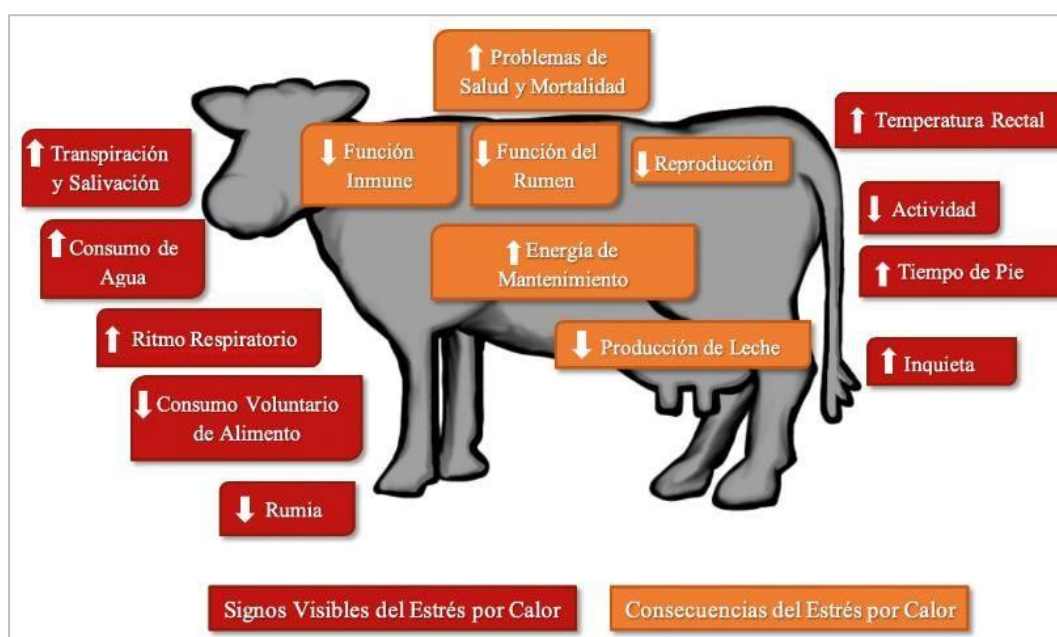


Figura 5. Efectos del calor sobre el comportamiento bovino. Fuente: Toledo, I., & Dahl. (2019).

En lo que respecta al rendimiento del ganado, se ha identificado una considerable variabilidad entre los estudios realizados en corrales de engorde, la cual se atribuye a las condiciones ambientales cálidas y al manejo del ganado (Canozzi et al., 2022).

Factores como la orientación del corral de engorde (Norte a Sur; evitar Este a Oeste), la carga térmica (duración, magnitud, grado de recuperación), el genotipo del ganado, la condición corporal, el horario de alimentación, el tipo de alojamiento, y las características de la sombra (orientación, material, diseño, área de sombra) son determinantes. Además, es crucial considerar la posible aclimatación del ganado y la producción compensatoria que puede ocurrir tras el alivio del estrés térmico (Morrison et al., 1981).

2.3.1.3. Efecto de la dieta

El ganado bovino genera una carga de calor metabólico como resultado del metabolismo tisular, la homeostasis, la actividad física y la fermentación del alimento en el tracto digestivo (Collier y Gebremedhin, 2015). La disipación de este calor hacia el entorno se lleva a cabo mediante procesos de conducción, convección y radiación, siempre que la temperatura ambiental sea inferior a la de la piel del animal. La carga de calor total que experimenta el ganado es la combinación del calor metabólico producido y la absorción de calor del ambiente circundante (Clariget et al., 2018). Si el ganado es incapaz de disipar eficientemente esta carga térmica excesiva, puede desarrollarse hipertermia, afectando negativamente su salud.

La gestión nutricional del ganado puede ser estratégicamente dirigida para mitigar el calor metabólico producido por el animal (Edwards-Callaway et al., 2021). La ingesta de energía y la composición de la dieta pueden ejercer efectos diferenciados sobre el rendimiento del

ganado y su respuesta fisiológica frente a temperaturas elevadas y cargas de calor excesivas (Edwards - Callaway et al., 2021).

En estudios realizados por Mader et al., (1999), se evaluó el rendimiento del ganado expuesto a cargas de calor excesivas en contraste con condiciones termoneutrales. Novillos de la raza Hereford fueron alimentados *ad libitum* con una dieta basada en cereales que contenía un 6% de forraje (alta energía; HE), la misma dieta con un 6% de forraje al 90% de la capacidad *ad libitum* (energía restringida; ER), o *ad libitum* con una dieta basada en cereales que incluía un 28% de forraje (alto forraje; HF). Bajo condiciones termoneutrales, los novillos alimentados con las dietas HE y HF mostraron un mayor consumo de alimento en comparación con aquellos alimentados con la dieta ER, lo que resultó en una mayor ingesta energética para los primeros. Sin embargo, en condiciones de calor donde los novillos experimentaron una carga térmica excesiva, aquellos alimentados con la dieta ER mantuvieron su consumo de alimento y energía (-4,6%), mientras que los alimentados con las dietas HE y HF disminuyeron su ingesta en un 15% y 18%, respectivamente. Además, los novillos bajo las dietas ER y HF consumieron mayores volúmenes de agua, lo que podría ofrecer efectos refrescantes beneficiosos. Los novillos alimentados con la dieta HE presentaron una mayor frecuencia respiratoria, temperatura corporal y signos indicativos de un mayor estrés por calor en comparación con aquellos alimentados con las dietas ER y HF. Estos resultados experimentales indican que la restricción alimentaria puede ser empleada como una estrategia efectiva para mitigar el estrés térmico en el ganado (Jaborek, 2023).

2.3.2. Síntomas de los tipos o etapas del estrés por calor

En regiones con climas cálidos, es común observar al ganado permaneciendo de pie en el agua, ya sea en estanques, ríos, arroyos en los pastizales, o cerca de abrevaderos (Brown-Brandl, 2008). La provisión de sombra y acceso adecuado al agua durante episodios de estrés térmico es esencial para el bienestar del ganado (Wagner, 1988).

El ganado afectado por estrés por calor presenta una serie de signos fisiológicos y conductuales, tales como un aumento en la frecuencia respiratoria y la temperatura corporal, una reducción en la ingesta de alimento, un incremento en la ingesta de agua, inquietud, y una mayor tendencia a permanecer de pie. En situaciones extremas, el estrés por calor puede incluso culminar en la muerte del animal (Brown-Brandl, 2008).

El estrés térmico puede ocurrir tanto en corrales de engorde como en pastizales, y sin importar la ubicación o la etapa de producción (Wagner, 1988).

El estrés térmico en las vaquillonas es una condición en la que el organismo tiene dificultades para disipar el exceso de calor, comprometiendo su capacidad para mantener un equilibrio térmico adecuado. Esta insuficiencia en la disipación de calor puede provocar diversas consecuencias como los calambres y golpe de calor de acuerdo con las directrices del Centro Nacional de Servicios para Publicaciones Ambientales, el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional y el Servicio Meteorológico Nacional (Habeeb et al., 2018).

Calambres: Los calambres en vaquillonas, también conocidos como calambres musculares o espasmos musculares, suelen ser contracciones involuntarias, dolorosas y transitorias de los músculos. Estas pueden deberse a diversos. Estos espasmos musculares ocurren tras realizar actividad física extenuante en un ambiente caluroso, cuando el cuerpo se queda sin sal y agua. Están relacionados con una disminución del flujo sanguíneo al cerebro y, principalmente, con deficiencias de electrolitos causadas por una sudoración intensa y prolongada. Esta pérdida de sal y humedad en el cuerpo genera niveles bajos de sodio en los músculos, lo que provoca calambres dolorosos (Habeeb et al., 2018).

Golpe de calor: El golpe de calor se caracteriza por signos progresivos que reflejan el daño fisiológico en su fase inicial aumento de la frecuencia respiratoria jadeo constante, esto a causa de la exposición prolongada al sol a alta temperatura (Habeeb et al., 2018).

2.4. Índice de temperatura-humedad (THI)

El índice de temperatura-humedad (THI) se ha establecido como un método tradicional para evaluar el estrés por calor (HS) en la producción lechera. Los cálculos de THI se derivan de las temperaturas de bulbo seco (Tdb en °C) y bulbo húmedo (Twb en °C) o de la humedad relativa (RH en %) (Sammad et al., 2020). Este índice ha sido efectivo para identificar la hipertermia en el ganado lechero en diversas condiciones tanto en interiores como en exteriores, y se aplica a diferentes climas y sistemas de producción. Generalmente, se acepta que un valor de THI superior a cierto umbral indica el inicio de signos de hipertermia en las vacas, aunque este umbral puede variar según el contexto, situándose comúnmente entre los valores de 67 y 72 (Sammad et al., 2020).

A valores superiores a estos límites, el ganado comienza a experimentar malestar por hipertermia, lo cual afecta su fisiología, reduce su ingesta alimentaria y disminuye tanto la producción como la calidad de la leche. Sin embargo, el umbral de THI puede variar entre parámetros fisiológicos, siendo más bajo para la frecuencia respiratoria y más alto para la temperatura rectal (Sammad et al., 2020). La combinación de una medición precisa del THI con la evaluación de parámetros fisiológicos asociados a la hipertermia es útil para predecir la carga de calor real que afecta al ganado. Para realizar mediciones precisas del THI, es importante que las condiciones climáticas se registren a nivel del entorno inmediato de la vaca, asegurando así una evaluación adecuada de las condiciones de estrés térmico a las que está expuesto el ganado lechero (Sammad et al., 2020).

Indice de Temperatura /humedad (THI)												
Temperatura (°F)	Humedad relativa (%)											
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	74	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74
	76	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
	78	67	68	69	70	71	72	74	75	76	77	78
	80	68	69	70	71	73	74	75	76	78	79	80
	82	69	70	71	73	74	75	77	78	79	81	82
	84	70	71	72	74	75	77	78	80	81	83	84
	86	70	72	74	75	77	78	80	81	83	84	86
	88	71	73	75	76	78	80	81	83	85	86	88
	90	72	74	76	78	79	81	83	85	86	88	90
	92	73	75	77	79	81	83	84	86	88	90	92
	94	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94
	96	75	77	79	81	83	85	88	90	92	94	96
	98	76	78	80	82	85	87	89	91	94	96	98
	100	77	79	81	84	86	88	91	93	95	98	100
Normal		Alerta			Peligro			Emergencia				

Fuente: Jaborek, 2023

2.5. Formas de mitigar el calor

2.5.1. Consumo de alimento

La modificación o ajuste en el tiempo y la cantidad de la alimentación ha demostrado ser una estrategia eficaz para reducir el estrés por calor en el ganado (Mader y Davis, 2004). Alimentar al ganado en horas más tardías del día puede prevenir una carga máxima de calor tanto metabólico como ambiental (Wagner, 1988). Durante el estrés térmico, se observa una reducción en la frecuencia de pastoreo y en la cantidad de alimento consumido al final del día, pudiendo disminuir hasta un 30% (Ceconi et al., 2022).

Limitar la ingesta de energía puede reducir de manera efectiva la producción de calor metabólico basal, lo que a su vez disminuye la carga total de calor metabólico en animales expuestos a altas temperaturas ambientales (Mader et al., 2002).

Además, la restricción energética ha mostrado mejorar la eficiencia del ganado mantenido en condiciones termoneutrales (Mader et al., 2002). Otros estudios han reportado que modificar el régimen alimenticio y/o rociar al ganado con agua reduce significativamente el estrés por calor en ganado en engorde (Mader y Davis, 2004).

2.5.2. Ingesta de agua

Durante condiciones de calor, el requerimiento hídrico del ganado aumenta debido a la pérdida de agua asociada con el incremento en la respiración y la transpiración (Clariget et al., 2018). El consumo de agua se presenta como el método más rápido para reducir la temperatura corporal central del ganado (Mader et al., 1999). En situaciones de estrés

térmico, el consumo de agua supera los niveles requeridos en condiciones metabólicas normales. Por lo tanto, el acceso a fuentes de agua adecuadas es crucial para gestionar el estrés por calor, y los recursos hídricos deben ser administrados con atención (Clariget et al., 2018). Es común que los animales se sumerjan en agua y aumenten su consumo de agua, especialmente durante las horas más calurosas del día (Alves et al., 2017).

La tasa de suministro de agua es igualmente significativa. El agua debe ser proporcionada a una tasa que cubra al menos el 1,1% del peso corporal del ganado por hora (Iowa State University, 2018). A temperaturas superiores a 27 grados Celsius, el ganado necesita más agua de lo habitual para prevenir la deshidratación y permitir la disipación del calor a través de la evaporación (sudoración) y la eliminación en forma de orina (Iowa State University, 2018). Consumir agua es el método más efectivo y rápido para reducir la temperatura corporal. Es crucial asegurar que el suministro de agua en cada bebedero de los corrales se mantenga en niveles adecuados para satisfacer el aumento de la demanda durante climas cálidos (Eirich et al., 2015).

La tasa de suministro debe evaluarse cuando el sistema está bajo presión de consumo, como a media mañana o durante la tarde en días calurosos. Además, el acceso al bebedero es fundamental, por lo que el espacio lineal alrededor del bebedero también debe ser considerado (Capó y Morales, 2015). Aunque no existe una norma universal, se recomienda entre 8 y 15 cm lineales de acceso al bebedero por animal, especialmente en eventos críticos de estrés térmico, cuando la demanda de agua aumenta considerablemente (Eirich et al., 2015). Esta estimación es crucial para evitar competencia y riesgo de deshidratación o incluso muerte. Como medida preventiva, se deben instalar tanques o bebederos adicionales si es necesario.

Esta instalación debe realizarse con anticipación para que los animales se familiaricen con múltiples fuentes de agua. Contar con un amplio espacio para que el ganado beba y se mantenga fresco también puede ser importante para conservar la ganancia y eficiencia alimentaria (Capó y Morales, 2015). Los bebederos deben ser mantenidos limpios para fomentar el consumo de agua, y una limpieza programada facilita la detección de bebederos que no funcionen adecuadamente (Eirich et al., 2015).

En condiciones de estrés térmico, el ganado puede consumir más de 75.7 litros de agua por día. Por lo tanto, se debe garantizar que el agua fluya con suficiente rapidez para satisfacer las necesidades crecientes de bebida del ganado en climas cálidos (Capó y Morales, 2015). El agua debe ser recargada rápidamente para proporcionar la cantidad necesaria durante un período de 24 horas en un lapso de cuatro horas (Managing heat stress in feedlot cattle, 2021).

2.5.3. Cambio del comportamiento

Reconocer la respuesta del ganado a altas cargas de calor es crucial para mejorar el bienestar animal durante períodos de calor. La detección temprana de condiciones de alta carga térmica puede optimizar la eficacia de las estrategias de alivio del calor, mejorando así el bienestar del ganado (Edwards-Callaway et al., 2021). Las altas cargas de calor pueden

alterar significativamente el comportamiento del ganado de engorde. Sin embargo, las relaciones entre los cambios en el comportamiento y los niveles de carga térmica en corrales de engorde comerciales aún no están completamente definidas, lo que complica la aplicación de patrones de comportamiento (Clariget et al., 2018).

Ansell (1981) observó que, bajo estrés térmico, el ganado tiende a evitar acostarse, interpretando este comportamiento como una necesidad de exponer la mayor parte posible de la superficie corporal al ambiente para disipar calor. No obstante, Mitlöhner et al. (2001), en un estudio realizado en Texas con 16 corrales de 18 m² y 2 animales por corral, no encontraron diferencias significativas en el tiempo que los animales permanecían de pie en comparación con aquellos en corrales con sombra. Según el modelo tridimensional de prioridades motivacionales, el ganado prioriza comer para satisfacer el hambre hasta que la necesidad de enfriarse se vuelve más urgente debido a la carga térmica alta. Entre las estrategias de enfriamiento empleadas se incluyen aumentar el tiempo de estar de pie, reducir el consumo de alimento, buscar sombra, agruparse y buscar agua para beber o salpicarse (Castañeda et al., 2004).

Los cambios en el comportamiento del ganado bovino bajo estrés por calor incluyen ajustes en las necesidades y preferencias temporales, adoptando estrategias para minimizar la carga térmica diaria. Estas estrategias pueden implicar una reducción en la ingesta de agua y alimento, búsqueda de sombra o disminución del movimiento (Clariget et al., 2018). La reducción del tiempo de rumia es particularmente notable, ya que este proceso contribuye a una alta producción de calor metabólico. El ganado ajusta el período de rumia de acuerdo con la temperatura ambiental, realizándolo más frecuentemente durante la noche en ambientes más frescos, lo que permite sería menor exposición al calor ambiental (Alves et al., 2017).

Se observa un cambio en el patrón alimentario, con el ganado cosechando porciones más pequeñas y eligiendo alimentos de mayor valor nutritivo durante el pastoreo, y pastando en la noche cuando las temperaturas son más bajas (Alves et al., 2017).

Los animales bajo estrés térmico tienden a evitar la exposición directa a la radiación solar buscando áreas sombreadas. Pueden explorar lugares húmedos, aislarse de otros animales y dispersarse para aumentar la superficie corporal disponible para el intercambio de calor con el entorno (Edwards-Callaway et al., 2021).

Algunos estudios han evaluado la cantidad de radiación solar tolerada voluntariamente por vacas lactantes en climas semiáridos y han observado que la frecuencia de exposición al sol disminuye con niveles altos de radiación. La intensidad de pastoreo fue mayor en áreas con radiación baja a moderada, mientras que las vacas evitaban pastar en áreas con alta radiación solar. Los autores concluyeron que el nivel crítico de radiación solar que motiva a las vacas a buscar sombra se relaciona con la reducción de la exposición al sol (Edwards-Callaway et al., 2021).

Este comportamiento destaca la influencia directa de la radiación solar en el comportamiento de las vacas lecheras. Otra respuesta observada es un aumento en la ociosidad (actividades

no relacionadas con alimentación o rumia), con un incremento en el tiempo de inactividad bajo radiación solar intensa. Los animales tienden a buscar sombra y restringir sus actividades durante las horas más cálidas del día (Alves et al., 2017). Además, se ha indicado que el ganado pasa más tiempo en posición vertical durante el descanso como una estrategia para exponer una mayor superficie corporal al ambiente y facilitar la pérdida de calor (Alves et al., 2017).

2.6. Estrategias de mitigación del calor

Para mitigar los efectos del estrés por calor, se implementan diversas estrategias de enfriamiento, como el uso de aspersores, ventiladores, o una combinación de ambos (Canozzi et al., 2022). Las estrategias de mitigación del calor en vaquillonas buscan reducir el impacto del estrés térmico para mejorar su bienestar, salud y productividad. Estas medidas son esenciales en climas cálidos o durante período de altas temperaturas y provisión de sombra (La Manna, 2014).

Sin embargo, la eficacia de estas estrategias puede verse afectada por la falta de consistencia en la duración y el momento oportuno de su aplicación. Además, el uso de estas medidas en momentos no críticos, cuando el ganado no está en riesgo elevado, puede ser contraproducente al limitar la capacidad del ganado para adaptarse a las condiciones térmicas extremas (Clariget et al., 2018).

2.6.1. Sombra

La provisión de sombra ofrece un enfriamiento efectivo y alivio térmico en áreas donde las temperaturas superan los 35°C y la humedad ambiental es alta. Las temperaturas elevadas suelen llevar a una reducción en el consumo de alimento (Pordomingo, 2013).

La sombra desempeña un papel crucial en la reducción de la carga térmica del ganado cuando las condiciones ambientales superan su zona termoneutral. Al disminuir la carga solar, la sombra modifica el microclima, lo que finalmente contribuye a mitigar el riesgo y las consecuencias del estrés térmico (Edwards-Callaway et al., 2021), lo cual mejora tanto el bienestar del ganado como su productividad.

Estudios previos, como los de Mader et al. (1999) y Mitlöhner et al., (2001), han corroborado que la sombra en los corrales de engorde resulta en un aumento significativo en el peso vivo y la ganancia media diaria del ganado (Blaine y Nsahlai, 2010).

El grado de saturación y el movimiento del aire son factores clave para optimizar la eficiencia refrigerante que ofrece la sombra. El diseño de la sombra debe permitir una remoción constante y rápida del aire. Es importante tener en cuenta que la sombra tiende a concentrar animales, excrementos y humedad, por lo que su disposición debe maximizar su eficiencia de uso, alejándola de los comederos y facilitando el secado del suelo. Las áreas con sombra permanente suelen ser más húmedas y acumular más excrementos. En general, las sombras orientadas de norte a sur tienden a presentar una superficie más seca, con menor formación de barro, mientras que aquellas dispuestas de este a oeste proporcionan una mayor

cobertura de sombra durante el día, favoreciendo un ambiente más fresco (Pordomingo, 2013).

La estructura destinada a proporcionar sombra debe diseñarse considerando una superficie de entre 1,85 y 3,70 m² por animal, con una altura de entre 2,5 y 4,0 metros, para permitir un flujo adecuado de aire debajo de la sombra. Diversos materiales pueden emplearse como cubierta, aunque es preferible que sean de color blanco para optimizar la reflexión de la radiación solar (Arias et al., 2008).

También se recomienda emplear materiales con una cobertura que no supere el 80% en su matriz, ya que aquellos con mayor densidad tienden a retener agua y se deterioran fácilmente tras las lluvias. Es ideal que la estructura de sombra sea desmontable o retractable durante los meses fríos, para no restringir la exposición solar en ese periodo (Pordomingo, 2013).

El aumento en el área de sombra reduce tanto la radiación solar directa como el calor emanado del suelo, mitigando así el estrés térmico y sus efectos adversos. Aguilar-Quñones et al. (2022) evidencian que, durante los meses calurosos de verano, las vaquillas con un área de sombra de 3,7 m² por animal mostraron un mejor desempeño productivo comparado con aquellas bajo un área de 2,7 m² por animal en la fase de engorde. Esto indica que ampliar la cobertura de sombra puede mejorar las respuestas fisiológicas y productivas del ganado en condiciones de estrés térmico.

Canozzi et al. (2022) plantearon que el acceso a sombra puede aumentar el rendimiento, el peso de la canal, el comportamiento y la fisiología de los novillos en condiciones de feedlot. Aunque el índice de temperatura y humedad (ITH) promedio en el estudio fue de 70 a 72, el calor corporal podría haber superado el rango fisiológico óptimo, limitando la capacidad del animal a afrontar el estrés por calor. No obstante, se observó una respuesta positiva al acceso a sombra, sugiriendo beneficios claros en la gestión del estrés por calor.

2.6.2. Aspersión

La aspersión de agua sobre el ganado es una estrategia efectiva para mitigar el estrés por calor, gracias a la capacidad del agua para absorber y liberar calor durante la evaporación. Esta transferencia de calor es crucial cuando el ganado está expuesto a altas temperaturas ambientales, ya que la eficiencia del enfriamiento depende del gradiente térmico entre el animal y su entorno (Clariget et al., 2018; Capó y Morales, 2015).

Estudios han mostrado que la aspersión mejora significativamente el rendimiento del ganado, según Mader et al. (2007), la implementación de un sistema de aspersión activado durante 1 minuto cada 30 minutos, cuando la temperatura ambiente superaba los 27 °C, condujo a un aumento del 17 % en la ingesta de materia seca y a una mejora del 20 al 28 % en las ganancias diarias de peso, en comparación con un grupo control. Además, al adelantar la activación de los aspersores a 22 °C en lugar de 32 °C, se observó un incremento adicional del 5 % en la ingesta de materia seca y del 7 % en la ganancia diaria de peso (Mader et al., 2007). Estos resultados sugieren que la aspersión debería iniciarse antes de que las

temperaturas alcancen su máximo diario, y que la aspersión intermitente es una estrategia efectiva para mejorar el rendimiento.

La aspersión también reduce el jadeo y el gasto energético asociado, lo cual puede ser hasta un 18% menor en comparación con el ganado que no recibe aspersión. La aspersión durante 20 minutos cada 1.5 horas ha demostrado mejorar el rendimiento y mantener una ingesta de materia seca más constante en días calurosos (Wagner, 1988).

Comparaciones entre novillos y vaquillas sometidos a tratamientos de control y aspersión han mostrado que las vaquillas que recibieron aspersión ganaron un 20% más que las no asperjadas. Esto destaca cómo alterar el microclima alrededor del ganado puede mejorar significativamente su bienestar y rendimiento en condiciones extremas (Mader et al., 2004).

El enfriamiento del suelo con agua rociada también juega un papel importante en la gestión del calor. Las temperaturas del suelo pueden disminuir en 15°C cuando se compara la superficie asperjada con una sin rociar. Esto es crucial ya que, cuando la temperatura del suelo excede la temperatura corporal del ganado, el calor fluye desde el suelo hacia el animal, aumentando la carga térmica. Enfriar el suelo invierte este gradiente de flujo de calor, ayudando a mantener el equilibrio térmico y reduciendo el estrés por calor (Mader et al., 2004).

En los sistemas lecheros de producción, el uso de aspersores ha sido ampliamente investigado, demostrando resultados muy positivos (Collier et al., 2006 citado por Arias et al., 2008). No obstante, en sistemas de engorde a corral, el uso de aspersores genera un efecto secundario no deseado, dado que el estiércol se acumula en los corrales, la combinación de humedad y calor incrementa la emisión de olores desagradables (Arias et al., 2008).

2.6.3. Combinación de ambos: aspersión + sombra

No se ha encontrado en la literatura información de la combinación de ambas formas de mitigación física (sombra + aspersión), pero algunas investigaciones resaltan la eficacia de la sombra sobre el aspersor.

Los animales con acceso a sombra suelen presentar menor escala de jadeo que los animales bajo aspersión y estos últimos menor que los animales al sol (Clariget et al, 2019).

2.6.4. Modificación de la dieta

La implementación de programas de alimentación ya sea de forma aislada o combinada con adiciones o modificaciones en las instalaciones, puede ser eficaz para mitigar el estrés térmico (Pordomingo, 2013). La manipulación de la dieta representa una opción económica y potencialmente ventajosa para el ganado en situaciones de estrés calórico (Wagner, 1988).

Entre las estrategias de manejo alimenticio se contempla el suministro de alimento equivalente a un porcentaje del consumo registrado bajo un régimen *ad libitum*, o su restricción a un porcentaje estimado del consumo proyectado en dichas condiciones (Pordomingo, 2013).

La ingesta de materia seca (DMI) en novillos que han sido previamente restringidos en DMI sugiere que la ingesta permanece disminuida incluso después del período de restricción. Esta reducción en la ingesta no parece ser compensada completamente durante el período posterior a la restricción, lo que indica que la restricción de la DMI podría ser un mecanismo para reducir la carga térmica (Mader, 2003).

Los datos sugieren que este cambio en el comportamiento se produce principalmente en respuesta a la exposición previa al estrés térmico (Mader, 2003). Estos hallazgos apoyan el uso de programas de alimentación restringida a corto plazo (21 a 42 días) como una estrategia para manejar el estrés térmico sin impactar significativamente en el rendimiento del ganado.

Mader (2003) sugiere que los cambios en el comportamiento alimenticio observados en bovinos se producen principalmente como una respuesta adaptativa a la exposición previa al estrés térmico. En este sentido, diversos autores han señalado que el uso de programas de alimentación restringida a corto plazo (21 a 42 días) puede constituir una estrategia eficaz para reducir la producción de calor metabólico en condiciones de alta carga térmica (Brown-Brandl et al., 2006; Collier et al., 2012). Esta práctica puede contribuir a minimizar los efectos negativos del estrés por calor sin afectar significativamente el rendimiento productivo, siempre que se aplique de manera controlada y por períodos limitados (Mader et al., 2002; Gaughan et al., 2008). No obstante, algunos estudios advierten que, aunque esta estrategia puede mejorar la tolerancia térmica, podría implicar restricciones en el comportamiento de los animales, afectar la eficiencia alimenticia o comprometer el bienestar si se extiende en el tiempo o no se ajusta adecuadamente a las condiciones del sistema (Silva et al., 2020; Beatty et al., 2006). Por tanto, su implementación debe basarse en una evaluación del sistema de producción, el entorno ambiental y los objetivos.

En un estudio realizado por Mader et al. (1999), se evaluaron tres tipos de dietas en novillos en condiciones de engorde controladas: una dieta *ad libitum* alta en energía (1,36 Mcal/kg NEg) (HE), una dieta *ad libitum* baja en energía (1,15 Mcal/kg NEg) (LE), y una dieta alta en energía alimentada al 90% del *ad libitum*. Se midieron la frecuencia respiratoria y la temperatura rectal en condiciones térmicas tanto neutras como cálidas, así como la DMI y el consumo de agua. Los resultados mostraron que la frecuencia respiratoria se redujo en novillos con dietas de baja energía en comparación con aquellos que recibieron dietas de alta energía, lo que sugiere que esta medida es más indicativa del nivel de ingesta de energía metabolizable (EM) que del estrés térmico. La disminución en la frecuencia del pulso, asociada con una menor producción de calor, fue observada en animales con regímenes de ingesta restringida de energía. Esta reducción en la producción de calor fue corroborada por temperaturas rectales más bajas en los animales que recibieron dietas con menor ingesta de EM (Mader et al., 2002).

Pordomingo (2013) menciona que la eficiencia del costo de alimentación en vaquillonas es crucial porque representa un porcentaje significativo del costo total de producción en sistemas de engorde, siendo aproximadamente entre el 70 y 80% del costo total de engorde. Esta importancia radica en los siguientes puntos:

1. Impacto directo en la rentabilidad: dado que la alimentación es el mayor gasto, optimizar su costo tiene un efecto directo en las ganancias. Si se reducen los costos sin afectar el crecimiento y rendimiento, se mejora la rentabilidad.
2. Eficiencia en la conversión alimenticia: la eficiencia alimenticia mide cuánto alimento necesita el animal para ganar peso. Si las vaquillonas convierten el alimento en carne de manera eficiente, se necesitan menos recursos, disminuyendo los costos.
3. Selección de dietas adecuadas: una dieta bien equilibrada maximiza el crecimiento con el mínimo gasto. Es crucial ajustar los niveles de energía, proteína, vitaminas y minerales para satisfacer las necesidades del animal sin excedentes que incrementen costos.
4. Duración del engorde: cuanto más eficiente sea la dieta, menor será el tiempo necesario para alcanzar el peso ideal. Reducir el tiempo de engorde disminuye costos en alimento, mano de obra y otros recursos.
5. Estrategias de manejo: implementar prácticas como: la alimentación estratégica (suplementación específica en momentos clave), uso de forrajes de calidad o subproductos accesibles y minimizar desperdicios de alimento.

Chauhan et al. (2023) mencionan que las dietas juegan un papel crucial en la mitigación del estrés térmico en rumiantes, ya que el estrés calórico afecta la ingesta de alimentos y, por ende, la nutrición y el rendimiento animal. A continuación, se destacan los puntos más importantes sobre la alimentación en condiciones de estrés térmico y las prácticas que se podrían implementar:

1. **Suplementación con grasas y antioxidantes:**

La inclusión de grasas en la dieta puede proporcionar una fuente adicional de energía sin incrementar el calor metabólico. Además, los suplementos antioxidantes (como vitaminas C y E, betaina y selenio) ayudan a proteger contra el daño oxidativo causado por el estrés térmico (Osei-Amponsah et al., 2019).

2. **Uso de granos de fermentación lenta:**

Para evitar problemas como la acidosis ruminal, es importante ofrecer granos de fermentación lenta, como el maíz. Estos granos ayudan a reducir la fermentación rápida en el rumen, minimizando la producción de calor adicional (Gonzalez-Rivas et al., 2016; Prathap et al., 2022).

3. **Ajustes en los patrones de alimentación:**

Se recomienda alimentar a los animales durante las horas más frescas del día (temprano en la mañana o tarde en la noche) para reducir la carga térmica asociada con la digestión y mejorar la eficiencia de la alimentación (Baumgard et al., 2014).

4. **Diversificación y adaptación de la dieta:**

Es fundamental adaptar la dieta según la especie, el tipo de forraje disponible y las condiciones ambientales. La diversificación de los forrajes y la optimización de las prácticas de manejo de la alimentación pueden ayudar a reducir los efectos del estrés térmico y mejorar la productividad (Ortiz-Colón et al., 2018).

2.7. Efecto del estrés por calor sobre la calidad de la carne

A nivel global, el ganado bovino se cría principalmente en condiciones al aire libre, lo que implica una exposición constante a las condiciones ambientales naturales. Los bovinos son particularmente susceptibles tanto a condiciones ambientales extremas como a cambios climáticos bruscos (Mader, 2003).

Esta susceptibilidad es más pronunciada en animales con mayor acumulación de grasa, ya que la grasa subcutánea actúa como aislante, lo que ralentiza la disipación del calor. Asimismo, los bovinos con pelaje denso, que proporciona mayor aislamiento, y aquellos con pelaje oscuro, como el ganado negro y rojo oscuro, presentan una mayor sensibilidad al calor (Bavera et al., 2003; Da Silva et al., 2003; Gaughan et al., 1999)

En cuanto a la calidad de la carne, existen diversos factores que la afectan, entre los que se encuentran la edad y el sexo de los animales, el momento de la alimentación y la actividad de las enzimas blandadoras. Existen diversos factores posteriores al sacrificio que también influyen significativamente, como el tiempo y la temperatura de maduración, la velocidad de enfriamiento, el estiramiento muscular y los tratamientos mecánicos, físicos y químicos. No obstante, estos aspectos no serán abordados en este estudio (A.M.S.A, 2016).

Desde una perspectiva molecular, la terneza de la carne se asocia principalmente con dos factores: 1) la cantidad de colágeno y 2) la actividad de la calpaína post mortem. A medida que aumentan las concentraciones de colágeno en los tejidos y disminuye su solubilidad, la suavidad de la carne se ve comprometida. De manera similar, una menor actividad de las proteasas dependientes de calcio, como la μ -calpaína y la m-calpaína, que pueden ser inhibidas por la calpastatina, también reducirá la terneza. No obstante, la investigación sobre cómo los factores de producción previos al sacrificio influyen en las concentraciones de colágeno y la actividad de la calpaína ha sido limitada, lo que representa un área potencial para futuras investigaciones (A.M.S.A, 2016).

Además, el estrés térmico ha demostrado ser un factor crítico en la producción de carne de calidad. El Comité Científico en Salud y Bienestar Animal (SCAHAW, 2001) identificó que los efectos adversos sobre la ingesta de materia seca, el crecimiento y la eficiencia alimentaria en el ganado bovino se vuelven evidentes a partir de los 30°C aún con una humedad relativa inferior al 80%, y de 27°C cuando la humedad relativa es superior al 80%. Estudios han documentado que el estrés térmico reduce la masa muscular de la carcasa, disminuye la ganancia diaria promedio, causa pérdida de peso en la canal y reduce el grosor de grasa en novillos (Bernabucci et al., 2010).

El estrés tiene efectos negativos en la calidad de la carne, tales como un pH final elevado, menor fuerza de corte y una mayor oscuridad en la carne del músculo *M. longissimus thoracis* en ganado sometido a estrés térmico, en comparación con la carne de animales faenados durante períodos frescos (Bernabucci et al., 2010).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. Planteamiento del problema

El estrés por calor en el ganado de engorde es un fenómeno común durante el verano en las zonas productoras de ganado en el mundo (EE.UU., Australia, Brasil, etc.). El impacto del estrés por calor en los animales de engorde puede variar, provocando reducciones en el consumo de alimento, el crecimiento y el bienestar del ganado, en un incidente moderado hasta a la muerte del animal durante un evento extremo de calor. El nivel de estrés por calor que experimenta un animal consta de tres factores principales: susceptibilidad animal, condiciones ambientales y estrategias de manejo. Cada uno de estos factores también se puede dividir en diferentes elementos. La susceptibilidad animal depende del color y grosor del pelaje, sexo, especie (*Bos indicus* y *Bos taurus*), edad, historial de salud previo, temperamento, aclimatación, exposición previa y estado físico, así mismo se ha demostrado que la respuesta individual del animal se resume con la frecuencia respiratoria con respecto al entorno. Las condiciones ambientales incluyen la temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar, estos elementos combinados se resume en un parámetro que es el más conocido como el índice de temperatura y humedad. Las estrategias de manejo pueden reducir el estrés y mejorar el bienestar de los animales, como proporcionar sombra, refrigeración por aspersión, cambio de horario o eliminar la manipulación de los animales, cambio de las dietas y proporcionar agua limpia, estas estrategias de manejo son opciones claras, donde se puede aplicar acorde a las necesidades individuales o grupales de los animales. Estas estrategias pueden implementar en el momento adecuado, así maximizar los beneficios para los animales y se limitarán los costos a los productores (Brown–Brandl, 2008).

La República Oriental del Uruguay no se halla localizada en una región de estrés calórico severo para el ganado, sin embargo, ocurren eventos que afectan el desempeño productivo, la salud, bienestar y el comportamiento animal llegando en casos extremos a la muerte de los mismos (Portal INIA Previsión de estrés calórico en bovinos, 2024). Dentro de las estrategias para mitigar el estrés térmico se encuentra la modificación física del ambiente a través de la provisión de sombras (Fuquay et al., 1981) o aspersión (Gaughan et al., 2004). Existe muy poca o nula información de la combinación sombra y aspersión, pero la combinación de ambas podría potenciar el efecto beneficioso de cada una de ellas de forma individual. A su vez, también se podría disminuir el incremento calórico manejando la dieta que se le ofrece al animal (Mader et al., 1999).

3.2. Hipótesis

La hipótesis planteada es que los animales que tienen acceso a alguna estrategia de mitigación física del estrés por calor, junto a dietas menos calóricas (fibra), presentarán un mejor desempeño productivo, acompañado de un menor consumo energético y una menor carga calórica, lo que se traduce en menor estrés térmico (mayor ganancia de peso y aumento de la eficiencia de conversión). Así mismo, se espera que estos animales experimenten un mayor bienestar en comparación con aquellos que no reciben ninguna estrategia de mitigación durante el verano en Uruguay. Dentro de las estrategias físicas, se plantea que la combinación de sombra y aspersión deberá tener un mejor efecto sobre los animales que cada una de ellas individualmente.

3.3. Objetivo General

Evaluar el efecto de un tratamiento control (sol) con tres estrategias de mitigación física del calor (sombra, aspersión y la combinación de ambas) combinadas con dos dietas con diferente contenido de fibra sobre el desempeño productivo, fisiología, comportamiento y calidad de la carne de vaquillonas Angus en engorde a corral.

3.4. Objetivos Específicos

1. Determinar la ganancia de peso, eficiencia de conversión y consumo de las vaquillonas Angus en engorde a corral.
2. Analizar el comportamiento y la respuesta fisiológica de las vaquillonas Angus sometidas a engorde a corral, incluyendo frecuencia respiratoria, jadeo y consumo de agua.
3. Evaluar los atributos de canal y calidad de carne de las vaquillonas Angus en engorde a corral, considerando peso, composición, pH y textura.

4. ESTRATEGIA DE LA INVESTIGACIÓN

Se utilizaron vaquillonas Angus identificadas individualmente con caravanas que fueron asignadas al azar a corrales individuales. El diseño experimental fue un factorial de 4x2 donde uno de los factores fue mitigación física del calor y el otro dos dietas con diferente contenido de fibra. El factor de mitigación física consistió en cuatro tratamientos (sol, sombra, aspersión y combinado: sombra y aspersión) y el de dietas en dos niveles (fibra normal FN y fibra alta FA), resultando 8 tratamientos donde la unidad experimental fue animal/corral en un arreglo de bloques al azar.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización y periodo experimental

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en un corral comercial de Marfrig “El Impulso”, localizado sobre la Ruta 2, Km 288,5 del Dpto. De Rio Negro, Uruguay en las coordenadas geográficas de (33°15'08"S, 58°01'49"W). Los corrales de engorde están ubicados a 14 m sobre el nivel del mar. El periodo experimental tuvo una duración de 90 días, de Enero a Abril del 2023.



Figura 6. Imagen por drone del sector de investigación de “El Impulso”, Marfrig

(Fuente: Ing.Agr. Alejandro La Manna).

5.2. Características edafoclimáticas

El clima en esta zona del país es subtropical húmedo (Cfa: clima subtropical húmedo según la clasificación climática de Köppen-Geiger, 2007), con inviernos templados y parcialmente nublados y veranos calurosos, húmedos y mayormente despejados. La precipitación promedio anual: 1000-1400 mm se distribuye uniformemente durante todo el año.

5.3. Población de unidades

Se seleccionaron 32 vaquillonas Angus con aproximadamente 15 meses de edad y un peso vivo inicial (PVI) de 416 kg. La asignación de los corrales individuales bloqueados por PVI así como la asignación a uno de los ocho tratamientos con 4 réplicas cada uno fue realizada al azar por el método de sorteo.

5.4. Diseño experimental y tratamiento

El diseño experimental fue factorial 4 x 2 con 2 factores: mitigación y dieta. El factor de mitigación incluyó la evaluación de cuatro niveles (sol, sombra, aspersión y combinado: sombra y aspersión) y el factor dieta incluyó dos niveles (fibra normal FN y fibra alta FA),

resultando 8 tratamientos donde la unidad experimental fue animal/corral en un arreglo de bloques al azar.

5.5. Instalaciones

Las vaquillonas fueron asignadas a corrales individuales, electrificados (20m de largo x 2,5m de ancho, 50 m² por animal) continuos con una superficie de suelo compactada. Las cercas fueron de alambre y postes de madera asegurados al suelo. Cada corral individual contaba con un comedero y bebedero de plástico.

Las vaquillonas con disponibilidad a sombra o sombra/aspersión tenían acceso a la sombra durante todo el día con un espacio de 3,5m² por animal, con una orientación este-oeste (EO). La superficie de sombra fue generada con chapas de metal (1,2 x 2,44 m de 6mm de grosor) a 4m de altura. Las vaquillonas a las que se les asignó el tratamiento aspersión o aspersión/sombra contaban con 4 aspersores por corral. Los mismos estaban conectados a una manguera adyacente a un poste de madera de 3m de altura a una distancia de 2 metros frente a cada corral.

Cuando el índice de temperatura y humedad (ITH) se preveía que iba a superar 75, se encendían los aspersores. Los mismos eran encendidos desde las 11:30 hasta las 17:30 h. El volumen de aspersión fue de 9 L/min y en un radio de 8,5 m. Los aspersores se prendieron durante 39 días. Las variables climáticas de temperatura, velocidad del viento y humedad relativa fueron obtenidas de la estación meteorológica automatizada (Vantage Vue, Davis Instruments, Hayward, Ca, EE.UU.) ubicada a 1,2 km de los corrales y que pertenece al feetlot comercial. Los datos obtenidos fueron utilizados para calcular el ITH con la ecuación detallada en el Cuadro 1 (Thorn 1959).

Cuadro 1. Fórmula para el cálculo del índice de temperatura y humedad (Thorn 1959).

$$\text{ITH} = 0,8 * \text{Temperatura del aire (}^{\circ}\text{C)} + (\text{Humedad relativa}/100) * (\text{Temperatura del aire (}^{\circ}\text{C)} - 14,4) + 46,4$$

5.6 Animales

5.6.1 Evaluación de peso vivo

Las vaquillonas fueron pesadas al inicio del experimento y posteriormente cada 14 días antes de las 07:00h, previo al suministro de la primera comida, esta actividad se llevó a cabo hasta el final del ensayo. La ganancia diaria promedio se calculó como una regresión lineal individual de la pendiente del peso corporal de cada animal, para cada vaquillona, según lo recomendado por Crews y Carstens (2012). La relación ganancia/alimento se calculó con la GMD de las vaquillonas (kg/d) en el corral dividido por el DMI diario promedio de las vaquillas de un corral (kg/d).

5.6.2 Manejo de la dieta

Al inicio del experimento se les asignó a las vaquillonas una dieta de acostumbramiento con el fin de adaptarlas a raciones con niveles crecientes de concentración energética en la dieta, estas dietas fueron las mismas que emplea el establecimiento “El Impulso” en los distintos lotes comerciales. Las vaquillonas recibieron el alimento tres veces al día, a las 07:00 horas, 10:00 horas y 16:00 horas. La primera comida proporcionó el 25% de la dieta, la segunda comida el 35% y la última el 40%. Previo a la primera comida se llevó a cabo la lectura visual subjetiva individual de cada comedero (Rusche, 2019) y se pesó el rechazo del alimento proveniente del día anterior mediante el uso de balanza portátil, para el ajuste del suministro (aumentos o disminuciones) de la dieta. Cuando el comedero quedaba vacío (lamido) (Casella y Ciuffolini, 2005) se aumentaba un 3% la dieta, mientras si a la evaluación visual en el comedero se constataba un remanente de alimento de aproximadamente mayor al 5%, la oferta total diaria se disminuía en un 3%. La información de la lectura y rechazo del alimento por corral era registrado diariamente al sistema informático de Marfrig, en base a esa información, se corregía la nueva oferta de alimento que se brindaría a los animales a la tarde del mismo día, y a la mañana del día siguiente, este procedimiento se realizó del comienzo a fin del experimento. Por otro lado, la actividad de la tarde consistía en la lectura subjetiva (Rusche, 2019) de los rechazos parciales del alimento (15:00), posteriormente se llevaba a cabo la alimentación (16:00) la que aportaba el restante 40% de la ración diaria. El alimento para repartir diariamente se depositaba en dos piletas de cemento próximas a los corrales para luego pesar (dependiendo de la lectura), utilizando una balanza de pie y luego distribuir las manualmente en baldes de plástico a cada comedero.

Cuando el índice de temperatura y humedad (ITH) (Cuadro 1) se preveía que iba a superar 75, se cambiaba la dieta a una de mayor fibra (FA); volviéndose a la dieta normal o anterior (FN) cuando las condiciones de ITH eran menores a 75.

El régimen de dieta FA duro por 39 días, mientras que el régimen de la dieta FN se extendió por 51 días. Las características de estas se detallan en el Cuadro 2 y 3.

Al comienzo del periodo experimental se tomaron muestras de las dietas y fueron enviadas al Laboratorio de Nutrición del INIA La Estanzuela para análisis de composición química (Cuadro 2 y 3). El contenido de materia seca de las dietas se determinó por secado en una estufa de aire forzado a 60°C durante 48 h. El contenido de MS (%) se calculó utilizando $(\text{peso seco/peso húmedo peso}) \times 100$. Las concentraciones de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) fueron corregidas por las cenizas que se determinaron con un analizador de fibra Ankom (ANKOM- 2000I; ANKOM Technology, Macedon, NY, USA). La ceniza se determinó por el método 942.05 de la AOAC. El extracto de éter se determinó con el método ANKOM-XT15 (ANKOM Technology, Macedon, NY, USA) según el método 954.02 de la AOAC, y el detergente ácido se determinó según lo descrito por Goering y Van Soest. El nitrógeno (N) se determinó con un analizador de N (Kjeltec 8200; FOSS Analytical, Hillerod, Dinamarca), y la proteína bruta (PROT) se calculó como $N \times 6,25$.

Cuadro 2. Características de la dieta FA.

Ingredientes de la dieta	Proporción (%) de la MS	Kg MS/día	% de MS
Steam Flake de Trigo	29,3	2,63	78
Cebada quebrada	25,7	2,31	88
Maíz Entero	16,7	1,50	86
Extrusado de Soja	9,9	0,89	93
Aserrín	5,9	0,53	60
Corteza	8,8	0,79	45
Núcleo Transición	3,8	0.34	97

Composición química de la dieta FA	
Materia seca (%)	9,00
Cenizas (% MS)	3,1
Proteína cruda (% MS)	13,4
Fibra detergente neutra (% MS)	26,7
Fibra detergente ácida (% MS)	19,3
Lignina (% MS)	0,03
Extracto etéreo (% MS)	0,1
Energía metabolizable (Mcal/kg MS)	2,439

Cuadro 3. Características de la dieta FN.

Ingredientes de la dieta	Proporción (%) de la MS	Kg MS/día	% de MS
Steam Flake de Trigo	31,2	3,23	78
Cebada quebrada	29,1	3,02	88
Maíz Entero	18,4	1,90	86
Extrusado de Soja	6,3	0,66	93
Aserrín	4,9	0,50	60
Corteza	7,3	0,76	45
Núcleo Engorde Insalcor	2,8	0,29	97
Composición química de la dieta FN			
Materia seca (%)		10,4	
Cenizas (% MS)		2,9	
Proteína cruda (% MS)		13,7	
Fibra detergente neutra (% MS)		24,0	
Fibra detergente ácida (% MS)		16,2	
Lignina (% MS)		0,02	
Extracto etéreo (% MS)		0,1	
Energía metabolizable (Mcal/kg MS)		2,512	

5.6.3 Ingesta de agua

La ingesta de agua (WI) se calculó como la diferencia entre el nivel de agua restante y el volumen necesario para alcanzar su nivel original del bebedero el cual era un tambor de material de plástico de unos 72 litros. Todos los corrales contaban con agua *ad libitum* y bebedero propio. El agua suministrada diariamente que se completaba el nivel de agua a ser necesario provenía de las instalaciones principales, y era distribuida manualmente mediante mangueras.

5.6.4 Variables fisiológicas

La frecuencia respiratoria por minuto (RPM) y la escala de jadeo (Gaughan et al., 2008; (Cuadro 4) fueron registrados 5 veces por semana en todos los animales, cuatro veces por día (10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 h) por dos operarios entrenados. Con las cuatro mediciones diarias se calculó el promedio diario para ambas variables.

Cuadro 4. Escala de jadeo.

Grado	Jadeo
0	Ausente
1	Jadeo leve, boca cerrada, sin babeo ni espuma
2	Jadeo acelerado, babeo o espuma presente en la boca
2,5	Igual al anterior, pero boca abierta
3	Boca abierta, babeo, nuca extendida, cabeza generalmente hacia arriba
3,5	Igual al anterior, pero con lengua hacia afuera
4	Boca abierta, lengua hacia afuera, babeo, nuca extendida, cabeza hacia arriba
4,5	Igual que el anterior, pero cabeza hacia abajo

5.6.5 Variables de comportamiento

El comportamiento de las vaquillonas fue monitoreado dos días a la semana durante 12 horas desde las 07:00 horas hasta las 19:00 horas, registrándose cada 15 minutos sus actividades ya sea: la posición del animal (parada/echada), utilizando mitigación (sol/aspersión/sombra), y la actividad que estaba realizando (come/bebe/rumia/estático).

5.6.6 Atributos de la canal y de la carne

Una vez alcanzado la terminación, el embarque de los animales se realizó en el día 90, en el horario de las 15hs para luego ser transportados al Frigorífico INALER en San José (Marfrig) ubicado en Paraje Banado 7ª Sec. Jud. CP 80000 – San José. Al día siguiente a las 6:00 am las 32 vaquillonas fueron pesadas individualmente por orden de tratamiento y en ese orden ingresaron a la línea de faena. En el punto de sacrificio, dos operarios identificaron el número de caravana de tratamiento y de trazabilidad para luego asignar un número correlativo para seguir esos animales durante toda la línea de faena.

Tras el sacrificio se tomó peso de canal caliente (kg) y se registró peso del corte pistola, marbling, área de ojo de bife (AOB), luminosidad de la carne y pH final. A su vez, la planta frigorífica proporcionó el romaneo con la información del peso de la canal caliente en 4ª balanza, dentición, conformación (I-N-A-C-U-R) y terminación (0-1-2-3-4).

Luego del cuarteo se registró el peso del corte pistola izquierdo de cada animal y se evaluó el nivel de marbling utilizando la escala del USDA Quality Grade (USDA, 2017).

Se midió el área del ojo de bife entre la 10^a y 11^{va} costilla utilizando una grilla plástica con cuadrados de 0,1 pulgadas cuadradas. Se registró el pH final a las 48 horas post-mortem en el músculo *Longissimus dorsi* entre la 10^a y 11^{va} costilla, utilizando un potenciómetro Hanna (HI99163, Hanna Instruments Inc., Woonsocket, RI, USA), el cual fue previamente calibrado usando dos soluciones buffers (pH 4.0 and 7.0).

En el desosado, se recolectó un churrasco de 2,54 cm de ancho del músculo *Longissimus lumborum* de las medias canales izquierdas de cada animal a las 48 horas post-faena. Las muestras fueron envasadas individualmente al vacío y trasladadas en condiciones de refrigeración al Laboratorio de Tecnología de la Carne del INIA Tacuarembó. En el Laboratorio, los churrascos fueron almacenados en una cámara entre 0-2 °C para madurarlas por 7 días. Luego de la maduración, las muestras fueron retiradas del envase al vacío y fueron colocadas en una bandeja durante 45 minutos para permitir la oxigenación o “blooming” de las mismas en la cámara de enfriado. Posteriormente se determinó el color instrumental de la carne en cada muestra (espacio CIELab, *L**: luminosidad, *a**: componente verde (-) a rojo (+); *b**: componente azul (-) a amarillo (+)) por triplicado con un colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing Inc., Japón) utilizando un iluminante C, un observador estándar de 2° y un tamaño de apertura de 8 mm. Previo a la determinación del color, el colorímetro fue calibrado con una cerámica blanca.

Los churrascos de 2,54 cm. de espesor fueron pesados luego de realizar las mediciones de color y se cocinaron en grilles (GRP100 The Next Grillation, Spectrum Brands, Inc., Miami, FL) hasta alcanzar una temperatura interna de 71°C de acuerdo con el protocolo de la American Meat Science Association (A.M.S.A, 2016). Se registró de todas maneras el pico máximo de temperatura en el centro geométrico de cada churrasco. Luego de la cocción y enfriado de los churrascos, éstos se pesaron nuevamente para determinar la pérdida por cocción.

Seguidamente, se determinó la fuerza de corte con un texturómetro TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, Reino Unido) equipado con una cizalla Warner Bratzler (ranura V). De cada churrasco, se obtuvieron 6 submuestras (cilindros de 1.27 cm de diámetro) de forma paralela a la orientación longitudinal de las fibras musculares. Previo a realizar las determinaciones el texturómetro fue calibrado con una pesa de 5 kg. La velocidad de prueba fue de 5 mm/s, la distancia de desplazamiento una vez que la cizalla toca la muestra fue de 25 mm. El parámetro registrado fue la fuerza máxima de corte de cada muestra. Los 6 valores individuales de la fuerza de corte correspondientes a cada churrasco se promediaron de manera de obtener un único valor por muestra.

5.11. Método de análisis e interpretación

El análisis se realizó utilizando el paquete estadístico SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EE.UU.) mediante PROC MIXED, para un factorial 4 x 2 con arreglo de bloques, donde los modelos estadísticos fueron:

El experimento factorial con dos factores, en el cual se evaluaron cuatro tratamientos dentro del factor mitigación (control=sol, aspersión, sombra y combinado: sombra y aspersión) y dos tipos de dieta (fibra normal FN y fibra alta FA). Las variables analizadas bajo este modelo incluyeron: peso inicial, peso final y GPV.

Modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + T_k + E_{ijk} \quad i = 1, \dots, 4; j = 1, \dots, 2; k = 1, \dots, 4$$

Donde:

Y_{ijk} = observación k en nivel i de factor A y nivel j del factor B.

μ = media general.

A_i = efecto del nivel i del factor A (formas de mitigación).

B_j = efecto del nivel j del factor B (dieta).

$(AB)_{ij}$ = efecto de la interacción del nivel i del factor A con el nivel j del factor B.

T_k = efecto del bloque k.

E_{ijk} = error aleatorio con media 0 y varianza σ^2 .

i = representa los niveles del factor A (mitigación).

j: representa los niveles del factor B (dieta).

a = número de niveles del factor A.

b = número de niveles del factor b.

k = índice que representa la réplica dentro de cada combinación de los factores A y B.

n = número de observaciones para cada combinación A x B.

Las variables analizadas mediante el modelo de medidas repetidas en el tiempo incluyeron: consumo, eficiencia consumo/ganancia, consumo de agua, frecuencia respiratoria, jadeo, comportamiento animal, así como los atributos de la canal y la carne.

Modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + S_{ij} + T_k + (A*t)_{ik} + E_{ijk} \quad i = 1, \dots, 4; j = 1, \dots, 2; k = 1, \dots, 4$$

Donde:

Y_{ijk} = observación ijk.

μ = media general.

A_i = efecto del tratamiento i.

S_{ij} = error aleatorio con media 0 y varianza σ^2 , la varianza entre animales (sujetos) dentro del tratamiento, es igual a la covarianza entre mediciones repetidas dentro de los animales.

T_k = efecto del bloque k.

$(T^*t)_{ik}$ = efecto de la interacción entre el tratamiento i y réplica k.

E_{ijk} = error aleatorio con media 0 y varianza σ^2 , la varianza entre mediciones dentro de los animales.

i= representa los niveles del factor A (mitigación).

j: representa los niveles del factor B (dieta).

a = número de tratamientos

b = número de sujetos (animales)

k= índice que representa la réplica dentro de cada combinación de los factores A y B.

n = número de periodos.

Para el análisis de comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey $P < 0,05$. Es importante recalcar que para todas las variables de estudio se corrió con las estructuras de covarianza AR, TOEP, CS y VC eligiendo aquella con el AIC más bajo. El consumo se analizó como medidas repetidas en el tiempo usando la estructura de covarianza Autoregressive. Para la estructura de covarianza de la variable consumo de agua se corrió con tres estructuras de covarianza que son AR, CS y VC, seleccionando el AIC más bajo, para consumo de agua se utilizó la estructura de covarianza AR, donde hubo interacción entre mitigación y dieta, lo cual permite ver cada combinación y para litros bebidos por kg de MS se utilizó la estructura de covarianza AR, donde hubo interacción entre mitigación y dieta, por lo cual se reporta cada combinación. Para las estructuras de covarianza de las variables de frecuencia respiratoria y jadeo se utilizó para el momento 10 CS donde no hubo interacción entre mitigación y dieta, lo cual permite ver cada nivel de mitigación y dieta por su lado, momento 12 AR(1) donde no hubo interacción entre tratamiento y dieta, lo cual permite ver cada nivel del tratamiento o dieta por su lado, momento 14 (respiración) AR(1) y (jadeo) CS donde hubo interacción entre tratamiento y dieta por lo cual se reporta cada combinación (tratamiento x dieta), momento 16 (respiración) CS y (jadeo) AR(1) donde hubo interacción entre tratamiento y dieta por lo cual se reporta cada combinación (tratamiento x dieta), seleccionándose el AIC más bajo y la interacción entre tratamiento y la dieta. Para las estructuras de covarianza de las variables de comportamiento animal se utilizó el TOEP, AR(1) y CS seleccionándose TOEP por tener el AIC más bajo y seleccionando la interacción donde parado y echado hubo interacción entre tratamiento y dieta. En la variable de frigorífico específicamente espesor de grasa hubo interacción entre tratamiento y dieta, por lo cual se reporta la combinación.

6. RESULTADOS

6.1. Caracterización del ITH

El ITH medio del periodo experimental fue de 72,5, el mínimo 54,3 el 17 de febrero y el máximo de 80,3 el 10 de marzo del 2023. En los 90 días de ensayo, los aspersores se prendieron durante 39 días que sería el 43,3% del tiempo experimental, donde también se cambió en los tratamientos de FA a la dieta anterior.

6.2. Desempeño productivo

En el cuadro 5 se puede observar los resultados correspondientes al desempeño de las vaquillonas Angus donde no hubo interacción entre tratamiento y dieta, para las variables evaluadas, lo cual permite ver cada nivel de tratamiento o dieta por su lado. El peso inicial promedio fue de 416 kg aproximadamente y no hubo diferencias entre tratamientos. Las vaquillonas que tuvieron acceso a formas de mitigación presentaron en promedio 31 kg ($P < 0,05$) más que el testigo (sol). Además, tuvieron mayor GPV y consumo ($P < 0,05$) sin diferencia significativas en eficiencia de conversión del alimento. En las dietas no hubo diferencias significativas en las diferentes variables mencionadas.

Cuadro 5. Desempeño productivo de vaquillonas Angus bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes sin interacción.

Ítem	Tratamientos ¹				Dietas ²		EE ³		P-valor	
	Sol	Aspersión	Combinado	Sombra	FN	FA	Tratamiento	Dieta	Tratamiento	Dieta
Peso Inicial (kg)	413	419	412	420	418,1	413	5,46	3,86	0,3979	0,2448
Peso Final (kg)	549 b	582 a	580 a	579 a	579	566	10,42	7,36	0,0116	0,1113
GPV (kg/día)	1,39 b	1,76 a	1,77 a	1,71 a	1,72	1,60	0,08	0,06	0,0011	0,0760
Consumo (kg/día)	10,0 b	12,0 a	12,1 a	11,4 a	11,4	11,0	0,36	0,25	<.0001	0,1204
Eficiencia (consumo/GPV)	7,13	6,63	7,00	6,74	6,73	7,00	0,39	0,27	0,5391	0,3876

Las significancias son por fila y por tratamiento, el factor tratamiento no se compara con el factor dieta.

¹Sol: sin estrategia de mitigación del calor; Aspersión: 9 l/min desde las 11:30 hasta las 17:30 h, cuando el ITH diario ≥ 75 .

²FA: fibra alta; FN: fibra normal.

³EE: error estándar

GPV: Ganancia de peso vivo.

Medias con letras diferentes dentro de la misma fila y mismo factor difieren significativamente. ($P < 0,05$)

Medias con letras iguales dentro de la misma fila y mismo factor no difieren significativamente. ($P > 0,05$)

6.3. Consumo de agua

En el cuadro 6, se observan los resultados correspondientes al consumo de agua y litros de agua bebida por kg de MS de las vaquillonas Angus, donde hubo interacción entre tratamiento y dieta para las variables evaluadas, por la cual permite ver cada combinación. Las vaquillonas expuestas al sol/FB y al acceso de sombra/FB tuvieron el mayor consumo de agua, seguido por combinado/FA, combinado/FB y sombra/FA. Así mismo en la variable de litros de agua bebida por kg de MS se puede observar que las vaquillonas expuestas al sol fueron las que más bebieron agua, llegando a la conclusión que las vaquillonas expuestas al sol sufrieron un mayor estrés calórico comparado con aquellas que tuvieron acceso a algún tipo de mitigación del calor, donde atenuó y benefició a las vaquillonas. No se ven beneficios claros de la modificación de las dietas, por lo cual no se evidencia un patrón de posición.

Cuadro 6. Consumo de agua de vaquillonas Angus bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes sin interacción.

Ítem	Tratamientos ¹ /Dietas ²								EE ³	P-valor
	Sol/ FA	Sol/FN	Aspersión/FA	Aspersión/FN	Combinado/FA	Combinado/FN	Sombra/FA	Sombra/FN	Trat X Dieta	Trat - Dieta
Consumo de agua (litros)	42,9 bc	51,5 a	42,2 b	42,2 b	47,4 ac	46,1 bc	46,2 bc	52,0 a	1,1307	<.0001
Litros de agua consumida por kg de MS	4,44 a	4,61 a	3,43 b	3,21 b	3,64 bc	3,40 b	3,72 b	4,12 ac	0,2061	0,0283

Las significancias son por fila y por tratamiento, el factor tratamiento no se compara con el factor dieta.

¹Sol: sin estrategia de mitigación del calor; Aspersión: 9 l/min desde las 11:30 hasta las 17:30 h, cuando el ITH diario ≥ 75 .

²FA: fibra alta; FN: fibra normal.

³EE: error estándar

FR: frecuencia respiratoria

Medias con letras diferentes dentro de la misma fila y mismo factor difieren significativamente. (P<0.05)

Medias con letras iguales dentro de la misma fila y mismo factor no difieren significativamente. (P>0.05)

6.4. Frecuencia respiratoria y jadeo

En el cuadro 7 se puede observar los resultados correspondientes a la frecuencia respiratoria y jadeo de las vaquillonas Angus, donde no hubo interacción entre tratamiento y dieta, para las variables evaluadas en el momento 10 (FR y jadeo), 12 (FR y jadeo), 14 (jadeo) y 16 (FR), lo cual permite ver cada nivel de tratamiento o dieta por su lado. Se registró interacción entre tratamiento y dieta, para frecuencia respiratoria (momento 14) y jadeo (momento 16) que serían en los dos últimos momentos de la medición, coincidiendo con el aumento de la temperatura (Cuadro 8).

La dieta no tuvo un efecto significativo sobre la frecuencia respiratoria y el jadeo. En el momento 12, tratamiento combinado, se redujo la FR, mientras que en los otros tratamientos de mitigación del calor (sol, aspersión, sombra) se redujo el jadeo (Cuadro 7).

Cuadro 7. Frecuencia respiratoria y jadeo de vaquillonas Angus bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes sin interacción.

	Tratamientos ¹				Dietas ²		EE ³		P-valor	
	Sol	Aspersión	Combinado	Sombra	FN	FA				
	Momento 10						Tratamiento	Dieta	Tratamiento	Dieta
FR	69,4	70,4	72,2	76,9	73,8	70,6	3,50	2,48	<.0001	0,6537
Jadeo	0,15	0,14	0,17	0,24	0,18	0,17	0,05	0,03	0,2351	0,6717
	Momento 12									
FR	90,8 a	77,0 b	69,8 c	85,2 a	81,3	80,1	2,57	1,82	<.0001	0,5094
Jadeo	0,61 a	0,26 bc	0,21 c	0,41 b	0,42	0,34	0,05	0,03	<.0001	0,5846
	Momento 14									
Jadeo	1,10 a	0,41 bc	0,31 c	0,60 b	0,60	0,60	0,09	0,06	0,0593	0,4252
	Momento 16									
FR	99,5 a	74,1 c	83,3 bc	92,4 ab	86,5	88,2	3,86	2,73	<.0001	0,5419

Las significancias son por fila y por tratamiento, el factor tratamiento no se compara con el factor dieta.

¹Sol: sin estrategia de mitigación del calor; Aspersión: 9 l/min desde las 11:30 hasta las 17:30 h, cuando el ITH diario ≥ 75 .

²FA: fibra alta; FN: fibra normal.

³EE: error estándar

FR: frecuencia respiratoria

Medias con letras diferentes dentro de la misma fila y mismo factor difieren significativamente. (P<0.05)

Medias con letras iguales dentro de la misma fila y mismo factor no difieren significativamente. (P>0.05)

Cuadro 8. Frecuencia respiratoria y jadeo de vaquillonas Angus bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes con interacción.

Ítem	Tratamientos ¹ /Dietas ²								EE ³	P-valor
	Sol/ FA	Sol/ FN	Aspersión/ FA	Aspersión/ FN	Combinado/ FA	Combinado/ FN	Sombra/ FA	Sombra/ FN	Trat – Dieta	Trat – Dieta
Momento 14										
FR	110,1 a	100,1 ab	77,1 c	75,1 c	69,1 c	79,2 bc	93,4 b	92,3 b	4,06	0,0043
Momento 16										
Jadeo	1,13 a	0,91 ab	0,23 e	0,14 e	0,24 de	0,44 ce	0,63 bc	0,23 cd	0,09	0,0449

Las significancias son por fila y por tratamiento, el factor tratamiento no se compara con el factor dieta.

¹Sol: sin estrategia de mitigación del calor; Aspersión: 9 l/min desde las 11:30 hasta las 17:30 h, cuando el ITH diario ≥ 75 .

²FA: fibra alta; FN: fibra normal.

³EE: error estándar

FR: frecuencia respiratoria

Trat: tratamiento

Medias con letras diferentes dentro de la misma fila y mismo factor difieren significativamente. ($P < 0.05$)

Medias con letras iguales dentro de la misma fila y mismo factor no difieren significativamente. ($P > 0.05$)

6.5. Comportamiento animal

En el cuadro 9 se puede observar los resultados correspondientes al comportamiento animal de las vaquillonas Angus, donde no hubo interacción entre tratamiento y dieta, para las variables evaluadas de uso de mitigación (sol, aspersión y sombra) y la actividad (come/bebe/rumia/ausencia de actividad), lo cual permite ver cada nivel de tratamiento o dieta por su lado. Se registró interacción entre tratamiento y dieta para la variable de la posición del animal (Cuadro 9).

Los animales que tuvieron acceso a sombra o combinado aumentaron ($P<0.05$) el comportamiento de ingesta de alimento frente a los animales testigo, mientras que éste no fue diferente a los animales con acceso a aspersión. El tiempo destinado al consumo de agua fue superior ($P<0.05$) en los animales testigo frente a aquellos que tuvieron acceso a mitigación física del calor, así mismo se puede observar una disminución del tiempo destinado al consumo de agua ($P<0.05$) a favor de FN en comparación a FA. La actividad de rumia fue superior ($P<0.05$) en mitigación combinada y aspersión frente a la sombra los cuales fueron superior ($P<0.05$) al testigo. No hubo efecto ($P>0.05$) del nivel de fibra sobre las variables de actividad. A pesar de que hubo interacción ($P<0.05$) entre mitigación y dieta, para las variables de posición del animal (parado/echado) (Cuadro 10), no se evidencia un patrón de posición claro.

Cuadro 9. Comportamiento de vaquillonas Angus según tipo de mitigación y actividad bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes sin interacción.

Ítem	Tratamientos ¹				Dietas ²		EE ³		P-valor	
	Sol	Aspersión	Combinado	Sombra	FN	FA	Tratamiento	Dieta	Tratamiento	Dieta
Sol (min)	720 a	261 b	234 c	236 c	365	360	6,68	4,72	<.0001	0,2806
Aspersión (min)	N/A	463	N/A	N/A	117	115	5,59	3,95	<.0001	0,5626
Sombra (min)	N/A	N/A	477	480	238	241	4,95	3,50	<.0001	0,3941
Come (min)	112 c	123 bc	130ab	139 a	127	124	5,80	4,10	<.0001	0,4528
Bebe (min)	45,3 a	20,1 b	13,0 b	17,1 b	19,3 a	28,1 b	4,69	3,31	<.0001	0,0106
Rumia (min)	94,1 c	147 a	153 a	120 b	131	127	6,88	4,86	<.0001	0,4006
Estático (min)	469 a	427 b	424 b	443 b	444	437	6,31	5,01	<.0001	0,1646

Las significancias son por fila y por tratamiento, el factor tratamiento no se compara con el factor dieta.

¹Sol: sin estrategia de mitigación del calor; Aspersión: 9 l/min desde las 11:30 hasta las 17:30 h, cuando el ITH diario ≥ 75 .

²FA: fibra alta; FN: fibra normal.

³EE: error estándar

Medias con letras diferentes dentro de la misma fila y mismo factor difieren significativamente. ($P<0.05$)

Medias con letras iguales dentro de la misma fila y mismo factor no difieren significativamente. ($P>0.05$)

Cuadro 10. Posición de vaquillonas Angus (parada/echada), bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes con interacción.

Ítem	Tratamientos ¹ /Dietas ²								EE ³	P-valor
	Sol/ FA	Sol/ FN	Aspersión/ FA	Aspersión /FN	Combinado/ FA	Combinado/ FN	Sombra/ FA	Sombra/ FN	Trat - Dieta	Trat - Dieta
Parada (min)	419 ab	454 a	469 a	402 ab	432 ab	454 a	436 a	363 b	11,7	0,0005
Echada (min)	301 ab	266 b	250 b	318ab	288 ab	265 b	284 b	357 a	23,3	0,0005

Las significancias son por fila y por tratamiento, el factor tratamiento no se compara con el factor dieta.

¹Sol: sin estrategia de mitigación del calor; Aspersión: 9 l/min desde las 11:30 hasta las 17:30 h, cuando el ITH diario ≥ 75.

²FA: fibra alta; FN: fibra normal.

³EE: error estándar

Trat: tratamiento

Medias con letras diferentes dentro de la misma fila y mismo factor difieren significativamente. (P<0.05)

Medias con letras iguales dentro de la misma fila y mismo factor no difieren significativamente. (P>0.05)

6.6. Atributos de la canal y de la carne

En el cuadro 11 se puede observar los resultados correspondientes a las variables de la canal y la carne de las vaquillonas Angus, donde no hubo interacción ($P>0,05$) entre tratamiento y dieta, lo cual permite ver cada nivel de tratamiento o dieta por su lado. Se registró interacción ($P<0,05$) entre tratamiento y dieta para la variable espesor de grasa (Cuadro 12).

Las vaquillonas expuestas a las tres formas de mitigación del calor (aspersión, combinado y sombra) y la dieta FN tienen mayor peso ($P<0,05$) vivo en frigorífico y pistola izquierda con respecto a las vaquillonas que fueron expuestas al sol. El grado de marbling en la Escala USDA fue Small – Standard para los cuatro tratamientos, habiendo variación dentro de ella. Las vaquillonas expuestas a las formas de mitigación física del calor (combinado y sombra) presentaron un Small superior, lo que podría llegar a estar cercano a una categoría superior, en este caso Modest, con respecto a las vaquillonas que fueron expuestas al sol y aspersión que presentaron un marbling Small bajo. No hubo efecto ($P>0,05$) del nivel de fibra sobre las variables como corte pistola, marbling, AOB, fuerza de corte, luminosidad de la carne, intensidad de rojo, intensidad de amarillo y pH final, como así también en tratamientos sobre las variables de peso canal caliente, AOB, intensidad de rojo, intensidad de amarillo, pH final. Así mismo hubo una mayor fuerza de corte para el testigo (sol) y la forma de mitigación aspersión. Se puede observar una mayor luminosidad de la carne para el tratamiento combinado ($P<0,05$) y menor luminosidad para el tratamiento sombra y sol ($P<0,05$), no difiriendo el tratamiento sombra (Cuadro 11). Se puede observar en el (Cuadro 12) un mayor espesor de grasa para la forma de mitigación y dieta, no difiriendo significativamente (Combinado/FB y Sombra/FA).

Cuadro 11. Atributos de la canal y de la carne de vaquillonas Angus bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes sin interacción.

Ítem	Tratamientos ¹				Dietas ²		EE ³		P-valor	
	Sol	Aspersión	Combinado	Sombra	FN	FA	Trat	Dieta	Trat	Dieta
Peso Vivo Frigorífico (kg)	507 b	539 a	536 a	534 a	537 a	521 b	9,54	6,74	0,0104	0,0340
Peso Canal Caliente (kg)	281	298	298	298	299 a	288 b	7,36	5,20	0,0663	0,0417
Pistola Izq. (kg)	57,7 b	60,9 a	61,4 a	61,2 a	61,0	59,4	3,54	2,50	0,0628	0,1234
Marbling (Escala USDA)	407 b	410 b	471 a	459 a	442	432	19,3	13,63	0,0047	0,4715
AOB (cm2)	73,0	77,2	76,4	76,0	77,4	74,0	3,09	2,19	0,5787	0,1311
Fuerza de corte (kg/fuerza)	5,00 a	4,26 ab	3,70 b	3,57 b	4,01	0,44	0,28	4,19	0,0077	0,6731
Luminosidad de la carne	39,0 b	39,7 b	41,7 a	40,1 ab	40,4	0,68	0,48	0,34	0,0047	0,4067
Intensidad de rojo	22,1	22,9	21,8	22,5	22,2	22, 5	0,56	0,38	0,0575	0,5358
Intensidad de amarillo	11,2	11,6	11,6	11,1	11,3	11,4	0,29	0,21	0,1819	0,8359
pH final	5,75	5,72	5,70	5,71	5,73	5,70	0,02	0,01	0,2780	0,1628

Las significancias son por fila y por tratamiento, el factor tratamiento no se compara con el factor dieta.

¹Sol: sin estrategia de mitigación del calor; Aspersión: 9 l/min desde las 11:30 hasta las 17:30 h, cuando el ITH diario ≥ 75 .

²FA: fibra alta; FN: fibra normal.

³EE: error estándar

Trat: tratamiento

Medias con letras diferentes dentro de la misma fila y mismo factor difieren significativamente. ($P<0,05$)

Medias con letras iguales dentro de la misma fila y mismo factor no difieren significativamente. ($P>0,05$)

Cuadro 12. Espesor de grasa de vaquillonas Angus bajo cuatro tratamientos de mitigación y dos dietas diferentes con interacción.

Ítem	Tratamientos ¹ /Dietas ²								EE ³	P-valor
	Sol/ FA	Sol/ FN	Aspersión/ FA	Aspersión/ FN	Combinado/ FA	Combinado/ FN	Sombra/ FA	Sombra/ FN	Trat- Dieta	Trat - Dieta
Espesor de grasa (mm)	11,4 b	13,3 ab	10,1 b	13,1 ab	11,0 b	18,1 a	17,0 a	13,0 ab	1,59	0,0012

Las significancias son por fila y por tratamiento, el factor tratamiento no se compara con el factor dieta.

¹Sol: sin estrategia de mitigación del calor; Aspersión: 9 l/min desde las 11:30 hasta las 17:30 h, cuando el ITH diario ≥ 75.

²FA: fibra alta; FN: fibra normal.

³EE: error estándar

Trat: tratamiento

Medias con letras diferentes dentro de la misma fila y mismo factor difieren significativamente. (P<0.05)

Medias con letras iguales dentro de la misma fila y mismo factor no difieren significativamente. (P>0.05)

7. DISCUSIÓN

La hipótesis de que los animales que tenían acceso a alguna estrategia de mitigación física del estrés por calor tendrían un mejor desempeño productivo además de experimentar un mejor bienestar que aquellos que no fuese sujetos a ninguna estrategia durante el verano en el Uruguay fue aceptada. El uso de la mitigación combinada sólo superó a las otras dos formas de mitigación por una menor FR y menor jadeo. Sin embargo, la hipótesis que dietas menos calóricas (altas en fibra) podría afectar todas las respuestas antes mencionadas no se cumplió. No hubo ninguna mejora por manejar la fibra de acuerdo al ITH esperado.

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que hubo estrés por calor por encima de 75 unidades de ITH y cualquiera de las tres medidas de mitigación mejoró el desempeño y bienestar de los animales. Dichos resultados guardan similitud con los estudios de Aguilar-Quñones et al., (2022) donde los autores registraron un ITH promedio de 81.7 unidades y en consecuencia, los animales sin acceso a medidas de mitigación experimentarían condiciones de estrés por calor la mayor parte de los días, provocando pérdidas de productividad y un impacto negativo en el bienestar animal. En efecto, Curtis et al., (2017) indicaron que el consumo de alimento y la función ruminal comienzan a disminuir con temperaturas alrededor de los 25°C. El estrés por calor provoca una reducción del consumo del alimento, perjudica la eficiencia de conversión y aumenta los costos de mantenimiento (Fuquay, 1981). Angrecka y Herbut (2019) mencionan que los animales de feedlot por estar confinados en corrales, el piso de tierra puede alcanzar más de 50 °C durante los meses de calor lo que potencia el efecto de la radiación solar.

El peso inicial promedio de las vaquillonas fue de 416 kg aproximadamente sin diferencias entre tratamientos, sin embargo, el peso final de las vaquillonas con alguna forma de mitigación fue 6,11% superior al testigo (sol). Asimismo, se observó una mayor GPV y consumo ($P<0,05$) de las vaquillonas que tenían alguna estrategia de mitigación física del calor frente a las vaquillonas expuestas al sol, pero no se registraron diferencias en eficiencia de conversión del alimento entre tratamientos. En las dietas no hubo diferencias significativas en las variables mencionadas. Edwards-Callaway et al., (2020) en línea con nuestros resultados señalan que animales de engorde a corral con acceso a la sombra o no, no mostraron diferencias en términos de peso inicial, pero los que tuvieron acceso a sombra presentaron un peso final significativamente mayor que aquellos que no tuvieron acceso a la sombra. En ese experimento, el consumo de materia seca no fue diferente entre los animales. En trabajos nacionales y en la misma línea que nuestros resultados, Canozzi et al., (2022) concluyen que los animales con acceso a sombra alcanzaron un peso vivo final 2,3% mayor que los animales que no contaban con sombra, así mismo con el acceso a sombra mejoró la ganancia diaria promedio (13%) y la ingesta de materia seca (6%).

En el mismo orden, y en un experimento realizado por Clariget et al., (2018) en el mismo corral que nuestro trabajo, los autores mencionan que en lo que denominaron período 1 (primeros 33 días experimentales), el ITH promedio fue de 73,6 y hubo ola de calor, mientras que en el período 2 (32d), el ITH promedio fue de 67,7 y no hubo ola de calor a pesar de que el experimento se inició en febrero. Los aspersores se prendieron durante 19 días que sería

el 30% del tiempo del experimento en comparación con nuestro estudio donde los aspersores se prendieron en 39 días que sería el 43,3% del tiempo. Los autores observaron un mayor consumo de materia seca (7,5%) para los novillos que contaban con acceso a la sombra con respecto a los novillos que estaban en el sol, lo que se condice con nuestros resultados. En el mismo sentido, Simeone et al., (2010) mencionan que los novillos del tratamiento control (sol) consumieron menos que el tratamiento sombra, sin embargo, la aspersión no mejoró el consumo respecto al control. La diferencia entre nuestros resultados y los de Clariget et al., (2018) respecto a los de Simeone et al., (2010) podrían estar asociadas a un mayor engrasamiento de nuestros animales que sufren en mayor medida el estrés calórico (Brown-Brandl et al 2006). Brown-Brandl et al. (2005) también reportaron que la sombra incrementó el consumo de materia seca en un rango de 2 a 11% dependiendo del nivel de riesgo del estrés calórico (desde Alerta hasta Emergencia).

Las vaquillonas expuestas al sol fueron las que más bebieron agua (litros bebidos por kg de MS), lo que podría indicar que fueron las que más sintieron el estrés calórico. Como vimos antes, durante condiciones de calor, el requerimiento hídrico del ganado aumenta debido a la pérdida de agua asociada con el incremento en la respiración y la transpiración (Clariget et al., 2018). El consumo de agua tendría un efecto refrescante beneficioso al reducir la temperatura corporal central del ganado (Mader et al., 1999). En el mismo sentido que nuestros resultados, Gaughan et al., (2010), reportaron diferencias considerables en la ingesta de agua durante todo el estudio experimental (53,1 vs. 49,3 L/d $\pm$ 1,5) para los tratamientos sin sombra vs. con sombra. En el presente estudio no se vieron beneficios claros de la modificación de las dietas.

El acceso a las formas de mitigación aspersión o combinado redujo la FR de las vaquillonas en el momento 12 (momento de más calor) mientras que los tres métodos de mitigación redujeron el jadeo, la dieta no tuvo un efecto significativo sobre la frecuencia respiratoria y el jadeo. Más precisamente, las vaquillonas con acceso a mitigación combinada fueron las que tuvieron menor FR y jadeo. Seguramente la combinación o posibilidad de elegir entre refrescarse y/o estar a la sombra les proporcionó mejor bienestar. Lees et al., (2020) menciona que a pesar de que *Bos indicus* son más eficientes en cambios fisiológicos y comportamentales durante el verano que *Bos taurus* para reducir el jadeo, es necesario la sombra para todos los genotipos de ganado, lo cual concuerda con el presente estudio. Blaine y Nsahlai (2011) mencionan que el jadeo disminuyó con el uso de la sombra, lo que indica un alivio del estrés por calor hasta el punto en que los animales reanudaron su comportamiento normal. Brown-Brandl et al. (2005) comentan que la tasa de respiración se vio positivamente afectada por la sombra, ya que el ganado de engorda bajo la sombra obtuvieron tasas de respiración reducidas, lo que concuerda con el presente trabajo. Los resultados de Canozzi et al., (2022) guardan similitud con el presente estudio ya que indican que la estrategia de mitigación (sombra) tuvo un efecto significativo en la disminución de la tasa de respiración y jadeo. Clariget et al., (2018) menciona que los animales que contaban medidas de mitigación estuvieron dentro de los valores normales mientras que los animales sin mitigación aumentaron en 10% de su FR y jadeo, así mismo es importante recordar que en la literatura existe variaciones en la FR máxima, donde la mayoría de los autores

coinciden que el animal disipa el calor cuando está por debajo de las 84 RPM (Gaughan y Eigenberg, 2000). En nuestro experimento, los niveles de RPM fueron superiores a la literatura, para respiración y jadeo en los dos últimos momentos de la medición, coincidiendo con el aumento de la temperatura.

Las vaquillonas que tuvieron acceso a sombra o combinado presentaron un incremento del 13% en la ingesta de alimento frente a las vaquillonas testigo (sol), permaneciendo más tiempo frente al comedero, mientras que éste último no fue diferente a los animales con acceso a aspersión. Dichos resultados guardan similitud con Mitlöhner et al., (2001) que la sombra es una estrategia de mitigación ambiental efectiva para disminuir los efectos fisiológicos y conductuales negativos en animales de engorde a corral. Schütz et al., (2008) mencionan que animales con mayor área de sombra, muestran un comportamiento menos agresivo, por lo que se dedican más tiempo a la alimentación, como resultado, gastan menos energía en otras actividades. En el presente estudio los animales estaban en forma individual sin necesidad de mostrar ese comportamiento por competencia de la sombra. Titto et al., (2011) menciona en relación con el comportamiento de la alimentación, el mayor tiempo dedicado a la rumia fue en animales en pastoreo expuestos a la sombra de los árboles como a la sombra artificial a diferencia con los que no contaban sombra. Tucker et al., (2004) menciona que proporcionar sombra al ganado de engorda, en los días cálidos, es clave para garantizar un buen comportamiento animal.

Las vaquillonas que estuvieron bajo el tratamiento/dieta de aspersión/FA, combinada/FB y de sol/FB pasaron más tiempo paradas. Esto podría explicarse porque los tratamientos de aspersión y exposición al sol podrían haber generado incomodidad térmica, incentivando a las vaquillonas a mantenerse paradas para mejorar la disipación del calor corporal. Allen et al., (2015), observaron que animales permanecen más tiempo en la posición parado durante la época estival, para facilitar la disipación de calor, lo que concuerda con el trabajo realizado. Por otro lado, las vaquillonas sombra/FB pasaron menos tiempo paradas. Este hallazgo sugeriría que la sombra, al proporcionar un ambiente más fresco, reduce la necesidad de termorregulación activa y promueve comportamientos más relajados, como el descanso.

Las vaquillonas bajo el tratamiento/dieta sombra/FA pasaron más tiempo echadas, lo cual es coherente con un ambiente más cómodo que facilita el descanso. En contraste, los tratamiento/dieta aspersión/FB y sol/FB resultaron menor tiempo echados, esto podría deberse a que las condiciones menos favorables, aumentaron la actividad para compensar el estrés térmico.

Se podría plantear que la forma de mitigación ‘sombra’ pareciera ser la más efectiva para promover el descanso de las vaquillonas, mientras que la mitigación ‘aspersión’ y la exposición al sol (testigo) favorecerían a un mayor tiempo parado, posiblemente debido a esfuerzos de termorregulación y en el caso de la aspersión podría estar relacionado con la acumulación de barro, lo que pudo generar incomodidad y la dificultad que las vaquillonas puedan echarse con facilidad. La dieta pareciera influir en el comportamiento, pero de manera menos marcada en comparación con las estrategias de mitigación física del calor.

En cuanto a los resultados de calidad de carcasa y carne de las vaquillonas Angus en engorde a corral sólo se registró interacción ($P<0.05$) entre tratamiento y dieta para la variable espesor de grasa. Dentro del tratamiento combinado, los animales con acceso a fibra baja tuvieron un 62% más de grasa subcutánea que aquellos que tuvieron acceso a fibra alta. Sólo podemos especular que este tratamiento de mitigación física del estrés por calor donde todos los animales estaban con cierto confort, la cantidad de energía consumida por los animales FN haya sido limitado (impuesta) en un momento cronológico de alta deposición de grasa.

Se observó una diferencia significativa en el peso vivo entre las vaquillas expuestas a las estrategias de mitigación física y la exposición al sol, con una diferencia de 29 kg lo que responde o refleja el resultado en ganancia de peso durante el engorde. El estudio de Blaine y Nsahlai (2010) guarda similitud con el presente estudio ya que tuvieron una mejora en el peso de la canal los animales que contaban con la forma de mitigación “sombra”. Por consiguiente Edwards-Callaway et al., (2021) mencionan que se incrementó los pesos de las canales calientes y rendimiento ($P<0,0001$) en $5,8 \pm 0,90$ kg y $0,36 \pm 0,004$ puntos porcentuales. Así mismo observaron diferencias entre los tratamientos para la profundidad de la grasa subcutánea de la 12a costilla, el área del músculo *longissimus* tendió ($P<0,06$) a $1,1 \pm 0,45$ cm², para ganado alojado en corrales con acceso a la sombra frente a los que no obtuvieron acceso. También, la puntuación de marbling aumentó ($P<0,001$) $15 \pm 2,0$ unidades para ganado con acceso a sombra frente a sin acceso. Brito y otros colaboradores en el año 2015 en su trabajo con el título Características de la canal y del animal; informaron específicamente los resultados del grado de calidad del USDA en relación con el acceso a la sombra para el ganado de engorde, el porcentaje de canales con clasificación Low Choice o mayor promedió el 56,3 % para el ganado sin sombra (Brito et al., 2015). Mientras que el ganado con sombra obtuvo 61,6 % de las canales lograron al menos Low Choice, una mejora notable del 5,3 % con respecto a aquellos sin acceso a la sombra ($P<0,01$), en contrario al presente estudio, la clasificación fue de SMALL-STANDARD. Sin embargo, Sullivan et al. (2011) no observaron diferencias en ganancia media diaria, peso de la canal y rendimiento al comparar con tres áreas de sombra (2,0, 3,3 y 4,7 m²/animal), no obstante, la eficiencia alimentaria en 2,0 y 3,3 m²/animal fue superior que los animales que contaban con 4,7 m²/animal.

Chauhan et al., (2023) comentan que la fuerza de corte es una medida importante para evaluar la calidad de la carne, y diversos estudios han demostrado que las condiciones de estrés térmico afectan negativamente este atributo. Por ejemplo, Kaddem et al. (2008) observaron que animales bajo condiciones de verano (21 °C, 59 % humedad relativa) presentaron una mayor fuerza de corte en comparación con aquellos en condiciones más frescas. Asimismo, Macías-Cruz et al., (2020) reportaron que el músculo *Longissimus thoracis* de corderos Dorper × Kathadin sometidos a temperaturas elevadas (28.4 ± 4.0 °C, 55.2 ± 18.2 % HR) tuvo una mayor fuerza de corte en comparación con aquellos expuestos a condiciones invernales (19.2 ± 2.6 °C, 41.7 ± 11.0 % HR). Esto sugiere que al menos dos semanas de exposición al estrés térmico son suficientes para aumentar la fuerza de corte y afectar negativamente la calidad de la carne (Zhang et al., 2021). Estos hallazgos concuerdan

con el presente trabajo, en el que se encontró una mayor fuerza de corte para el testigo (sol), seguido por el aspersor.

El color de la carne es un atributo importante que depende principalmente de la concentración y el estado químico de la mioglobina, y está influenciado por el estrés térmico Chauhan et al., (2023). Se ha observado que el estrés térmico tiende a aumentar la "rojez" de la carne (a^*), lo que puede mejorar la apariencia visual de la carne, pero también reduce la luminosidad (L^*), haciéndola más oscura (Zhang et al., 2020). Este cambio en el color puede estar asociado con un aumento en el pH final de la carne debido a la alteración de los procesos metabólicos inducidos por el estrés térmico, lo que afecta la estabilidad del color (Zhang et al., 2021). Sin embargo, algunos estudios han reportado que el estrés calórico no siempre reduce la estabilidad del color Chauhan et al., (2023). En un estudio reciente, se observó que la carne de corderos expuestos a 2 semanas de estrés calórico mostró una mejor estabilidad del color (menos pardeamiento) en comparación con la carne de animales en condiciones normales, lo que sugiere que el estrés calórico puede tener efectos diferenciados según las condiciones de exposición (Zhang et al., 2021). En general, los efectos del estrés por calor en la estabilidad del color de la carne pueden ser influenciados por diversos factores, como la duración de la exposición al calor, la especie de animal y el tipo de dieta que se les proporciona, Chauhan et al., (2023). En comparación con el presente estudio, se observó un incremento en la luminosidad de la carne cuando se aplicaron estrategias de mitigación del calor, lo cual contrasta con los resultados reportados por Zhang et al. (2020), quienes encontraron una disminución en la luminosidad bajo condiciones de estrés térmico.

Canozzi et al. (2022) mencionan que el peso al sacrificio de los novillos con estrategia de mitigación (sombra) fue de 2% mayor que los novillos sin sombra, también hubo una tendencia ($P=0,06$) a un mayor peso de la canal en los novillos con acceso a sombra en comparación a los sin sombra y no tuvieron diferencias sobre el rendimiento de la canal. Clariget et al. (2018) mencionan que no observaron diferencias significativas en el peso de faena y en el peso de canal caliente, con acceso a sombra.

Durante el estrés calórico, la ingesta de alimentos suele reducirse, por lo que se recomienda aumentar la energía de la dieta, esto se puede lograr reduciendo la fibra y aumentando los concentrados, que son más fáciles de digerir y producen menos calor metabólico durante la digestión (Gaughan et al., 2019). En contraste, una dieta alta en fibra, como la dieta FA en este estudio, podría resultar ventajoso durante períodos de estrés calórico, ya que contribuiría a reducir el impacto del calor metabólico generado en el proceso digestivo.

En la hipótesis planteada en este estudio se asumía que dietas con menor carga calórica y mayor contenido de fibra mejorarían el desempeño productivo, aumentando la ganancia de peso y la eficiencia de conversión. Considerando que la fibra, por kilogramo, produce un mayor incremento calórico, un aumento en su contenido podría reducir la digestibilidad ruminal, disminuir la tasa de pasaje y, como consecuencia, el consumo del animal sería menor (Cochran et al., 1986). Este efecto pudo ser beneficioso en períodos de estrés calórico, ya que ayudaría a minimizar el impacto del calor metabólico generado durante la digestión.

Sin embargo, los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas entre las dietas FN y FA en variables como desempeño productivo, comportamiento, respiración, jadeo, y atributos de la canal y la carne. Esto podría explicarse que la dieta FA no presentó un contenido de fibra lo suficientemente elevado como para generar los cambios esperados. La diferencia de fibra entre las dietas fue del 2,5% de la materia seca total, lo que equivale a 250 gramos en 10 kg de MS, pudo dificultar obtener resultados claros y beneficiosos.

Además, se observó un sobrante del ingrediente “corteza” en los comederos, indicando que los animales seleccionaron los ingredientes de la dieta. Los animales, capaz acostumbrados a una menor ingesta de fibra, pudieron tener dificultades para incorporar una mayor cantidad de este ingrediente. Engels y Jung (1989) señalan que ingredientes como la corteza, alto en lignina, poseen una baja digestibilidad para los rumiantes, como resultado esto limita el aprovechamiento nutricional y provoca que los animales elijan otros ingredientes de la dieta, fáciles de digerir y con mayor palatabilidad. Así mismo, Moore et al., (1993) añaden que los animales seleccionan los ingredientes más digeribles y cómo un factor importante, la textura del ingrediente, pueden influir en la selección del alimento, en consecuencia queda sobrante en los comederos, lo que coincide con las observaciones realizadas en el presente estudio.

En la práctica, pueden surgir inconvenientes relacionados con la selección de alimentos. Si bien es posible formular una dieta adecuada, su consumo efectivo puede diferir debido a la preferencia de los animales. En este estudio, los ingredientes de la dieta FA, como la corteza y la urea, fueron mezclados manualmente y no con un mixer, lo que pudo contribuir a la selección por parte de los animales.

Por otro lado, la dieta FN presentó un contenido energético de 3% superior al de FA. Para futuros estudios, se podría recomendar establecer una diferencia más amplia, con un aumento de la energía entre las dietas, bien diferenciada. Por ejemplo, al comparar una dieta con mayor contenido de fibra y menor energía frente a otra con menos fibra pero mayor energía. Se podría evaluar si existe un beneficio claro al manejar alguna de estas dietas en condiciones de estrés calórico.

En las variables de peso frigorífico y peso de la canal caliente, se observaron diferencias significativas a favor de la dieta FN. Esto podría explicarse por el mayor consumo de la dieta FN por parte de las vaquillonas, ya que este régimen, con una mayor energía total por kg, tuvo una duración de 51 días. En contraste, la dieta FA, menos calórica debido a su mayor contenido de fibra, se aplicó durante 39 días, representando una diferencia de 12 días entre ambas dietas. De acuerdo con el NDT (Nutrientes Digestibles Totales, entre de 70 a 90 Mcal/kg de NDT puede aumentar el peso de los animales en 100 gramos. En este estudio, las dietas mostraron una diferencia de 73 Mcal/kg en energía metabolizable entre FN y FA, lo que podría estar relacionado con la variación observada entre el peso frigorífico y el peso de la canal caliente. Aunque en las dietas en general no se observaron diferencias significativas que permitieran establecer beneficios claros durante el período de estrés calórico, al finalizar el estudio se evidenció un efecto positivo. Los animales alimentados con FN lograron una ganancia de peso de 1,200 kg más que aquellos alimentados con FA. McAllister et al., (1996) mencionan que la fibra aumenta el tiempo de retención en el rumen, limitando el espacio disponible para la entrada de nuevos alimentos y afectando

negativamente el consumo y la eficiencia, así mismo Allen (2000) manifiesta que dietas altas en fibra de baja digestibilidad limitan la ingesta de alimento y la utilización de la energía, reduciendo así el desempeño productivo del animal. Lo que concuerda con el presente trabajo ya que una FA, impidió que el animal consuma más alimento y no pudo compensar la menor energía disponible aumentando la ingesta, debido a la limitación física por el llenado del rumen, Allen (2000), lo que afectaría la eficiencia de conversión y ganancia de peso.

8. CONCLUSIONES

Se concluye que el ITH promedio del estudio fue de 72,5 unidades, evidenciando la presencia de estrés calórico, aunque la literatura indica que este suele manifestarse a partir de un ITH de 75 unidades. Bajo condiciones de un ITH medio de 72,5 unidades, las estrategias de mitigación del calor demostraron ser superiores al control (exposición al sol), generando mejoras significativas en GPV, consumo, peso frigorífico, consumo de agua, actividad de rumia, frecuencia respiratoria y jadeo, lo que contribuye a un mejor desempeño del animal.

Las vaquillonas expuestas a las tres estrategias de mitigación física del calor mostraron un aumento en la GPV y en el consumo, en comparación con las vaquillonas expuestas al sol. En cuanto a la variable de peso final, se obtuvo una diferencia significativa entre las estrategias de mitigación y las vaquillonas expuestas al sol, con una diferencia de 31 kg. Por último, en las variables mencionadas, no se evidenciaron beneficios claros de manejar la fibra.

Las vaquillonas expuestas al sol/FB y aquellas con acceso a sombra/FB registraron el mayor consumo de agua. Las vaquillonas bajo exposición directa al sol mostraron un mayor consumo de agua por kilogramo de MS, lo que evidencia un mayor estrés calórico en comparación con aquellas que contaron con estrategias de mitigación del calor, las cuales resultaron beneficiosas. Los cambios en la dieta no evidenciaron beneficios claros.

El acceso a medidas de mitigación como sombra, aspersión o ambos colaboraron para reducir el discomfort de los animales valorizado mediante el score de jadeo. Hubo interacción de factores para FR y score de jadeo para las 14 y 16 h, consumo de agua, litros bebidos por kg de MS y parado/echado lo cual indica que la fibra ejerció un efecto sobre las variables en estudio, lo que amerita profundizar en otros estudios.

En las variables de comportamiento, las vaquillonas con acceso a sombra y combinado mostraron un aumento significativo en la ingesta de alimento en comparación con las vaquillonas testigo, mientras que no se observaron diferencias entre las vaquillonas con acceso a aspersión. La actividad de rumia fue superior en combinado y aspersión frente a la sombra las cuales fueron superior al control. Del mismo modo, las vaquillonas expuestas al sol pasaron más tiempo frente al bebedero en comparación con aquellas que contaban con alguna estrategia de mitigación física del calor.

En las variables relacionadas a los atributos de la canal y de la carne, se observó una diferencia significativa en el peso vivo frigorífico entre las estrategias de mitigación física del calor y las vaquillonas expuestas al sol, con una diferencia de 29 kg. En la variable de pistola izquierda hubo una tendencia significativa a favor de las formas físicas de mitigación. El grado de marbling en la Escala USDA fue Small – Standard para los cuatro tratamientos, habiendo variación dentro de ella, presentando un Small superior para el acceso combinado y sombra. Las vaquillonas con acceso a combinado y sombra registraron una menor fuerza de corte y mayor luminosidad de rojo. Sin embargo, variables como (AOB), la intensidad de los colores (rojo y amarillo) y el pH final no mostraron diferencias significativas entre tratamientos o dietas. Se detectó una interacción entre el factor tratamiento/dieta en el

espesor de grasa, las vaquillonas bajo los tratamientos combinado/FB y sombra/FA presentaron los mayores valores de espesor de grasa respectivamente, lo que indica una mejor deposición de tejido graso subcutáneo. En contraste, las vaquillonas bajo aspersión/FA y combinado/FA mostraron valores más bajos, evidenciando un menor desarrollo, lo que apunta que la fibra tuvo un impacto en esta variable, respaldando la necesidad de realizar estudios adicionales para profundizar en este aspecto, además, se obtuvo una diferencia significativa entre FA y FN en las variables de peso vivo frigorífico y peso canal caliente. Estos resultados destacan que las estrategias de mitigación física del calor con sombra y dietas que favorecen la acumulación de grasa son más efectivas para promover un mayor espesor de grasa, mejorando la calidad de la canal.

Las estrategias para mitigar el estrés por calor son esenciales en la industria de feedlot, ya que permiten desarrollar prácticas de manejo que reducen las pérdidas de calor corporal y, en consecuencia, mejorar el desempeño productivo del ganado de engorde. Además, es importante evaluar el tipo y uso de sombra, así como la cobertura del suelo, ya que estos factores pueden influir en la radiación solar.

Se concluye que los animales que contaban con alguna estrategia física para mitigar el estrés por calor tendrían un mejor desempeño productivo y experimentarían un mejor bienestar en comparación con aquellos que no contaban con ninguna estrategia durante el verano en Uruguay. Con estos resultados, se demuestra que el combinado no presentó una diferencia significativa que lo haga destacar frente a las formas físicas de mitigación del calor, como la sombra y la aspersión. No obstante, dietas menos calóricas, altas en fibra, donde influirían en las respuestas mencionadas anteriormente, no se cumplió. No hubo mejora al ajustar la fibra según el ITH previsto.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aello, M., Armendano, J., & Jankovic, V. (2012). Sombra para mejorar el engorde en el corral. Sitio Argentino de Producción Animal.
2. Aguilar-Quñones, J. A., Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Guerra-Liera, J. E., Vicente-Pérez, R., Gastélum-Delgado, M. Á., Barajas-Cruz, R., Wittayakun, S., & Vicente-Pérez, A. (2022). Increasing shade area in feedlot heifers during heat stress: physiological and performance parameters. *Tropical Animal Health And Production*, 54(2). <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03152-4>
3. Allen, J. D., Hall, L. W., Collier, R. J., & Smith, J. F. (2015). Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 118–127.
4. Allen, M. S. (2000). Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 83(7), 1598–1624. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75030-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75030-2)
5. Alves, J. R. A., De Andrade, T. A. A., De Medeiros Assis, D., Gurjão, T. A., De Melo, L. R. B., & De Souza, B. B. (2017). Productive and reproductive performance, behavior and physiology of cattle under heat stress conditions. *Journal Of Animal Behaviour And Biometeorology*, 5(3), 91-96. <https://doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v5n3p91-96>
6. American Meat Science Association (AMSA), "AMSA Meat Color Measurement Guidelines", Revista VirtualPRO, (2016). Consultado en línea en la Biblioteca Digital de Bogotá (<https://www.bibliotecadigitaldebogota.gov.co/resources/2211779/>). Visitado el día 3 de marzo del 2024.
7. American Meat Science Association (AMSA). (2016). Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat, version 1.02, 2nd edition. AMSA, Champaign, IL, USA.
8. Angrecka, S., Herbut, P. (2016). Impacto de la orientación del granero en la insolación y temperatura de la superficie de los boxes. *Ciencia animal* 16, 887-896. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0096>
9. Ansell, R.H. (1981). In 'Environmental Aspects of Housing for Animal Production.' (Ed. J.A. Clark.) pp. 285-306. (Butterworths: London.)
10. 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>
11. Arias, R.A., Mader, T.L. y Escobar, P.C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 40: 7-22

12. Armendano, J. (2015). Bovinos para carne: ¿Cuándo se generan condiciones de estrés por calor? Volver a: Adaptación, aclimatación y el clima. Retrieved August 16, 2024, from https://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/97-Bovinos_para_carne.pdf
13. Armstrong, D.V (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*. 77: 2044-2050.
14. Bagath, M., Krishnan, G., Devaraj, C., Rashamol, V. P., Pragna, P., Lees, A. M., & Sejian, V. (2019). The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. *Research in Veterinary Science*, 126, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.08.011>
15. Banchemo, G., Chalkling, D. y Mederos, A. (2016). Relevamiento de problemas sanitarios y de manejo durante la terminación en bovinos en sistemas de confinamiento en Uruguay. *Revista Veterinaria (Uruguay)*. 52: 4-13.
16. Barreiro, M., Arizmendi, F., Díaz, N., & Trinchin, R. (2021). Análisis del clima y escenarios de cambio y variabilidad climática en Uruguay.
17. Baumgard, L., M. Abujamieh, S. Stoakes, M. Sanz-Fernandez, J. Johnson, and RP Rhoads. (2014). Feeding and managing cows to minimize heat stress. In Tri-State Dairy Nutrition Conference.
18. Bavera, G. et al. (2003). Termorregulación corporal y ambientación. https://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/04-termorregulacion_corporal_y_ambientacion.pdf
19. Beatty, D. T., Barnes, A., Taylor, E., Pethick, D., McCarthy, M., & Maloney, S. K. (2006). Physiological responses of *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *Journal of Animal Science*, 84(4), 972–985. <https://doi.org/10.2527/2006.844972x>
20. Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., & Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4(7), 1167-1183. <https://doi.org/10.1017/s175173111000090x>
21. Blaine, K. L., & Nsahlai, I. (2010). The effects of shade on performance, carcass classes and behaviour of heat-stressed feedlot cattle at the finisher phase. *Tropical Animal Health And Production*, 43(3), 609-615. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9740-x>
22. Brito, G., Lagomarsino, X., Julián, R. S., & Luzardo, S. (2015). Características de la canal y de la carne.
23. Brody, S., 1956. Fisiología climática del ganado. *Journal of Dairy Science* 39, 715-725.
24. Brown–Brandl, T. M. (2008). Heat stress in feedlot cattle. *Cab Reviews: Perspectives In Agriculture, Veterinary Science, Nutrition And Natural Resources*. <https://doi.org/10.1079/pavsnr20083016>

25. Brown-Brandl, T. M., Nienaber, J. A., & Turner, L. W. (2006). Manual feeding system for heat stress studies. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(1), 131–136. <https://doi.org/10.13031/2013.20267>
26. Brown-Brandl, T., R. Eigenberg, J. Nienaber y GL Hahn. (2005). Indicadores de respuesta dinámica del estrés por calor en ganado de engorda bajo sombra y sin sombra, Parte 1: análisis de indicadores. *biosist. ing.*90(4):451–462. [hacer:10.1016/j.biosystemseng.2004.12.006](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.12.006)
27. Brown-Brandl, TM, RA Eigenberg, Nienaber, JA, (2006). Estrés por calor Factores de riesgo de las novillas de engorda. *Ciencias del ganado* 105, 57–68. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.025>
28. Bršćić, M., Gottardo, F., Mazzenga, A., & Cozzi, G. (2007). Behavioural response to different climatic conditions of beef cattle in intensive rearing systems. *Agriculture*, 13(1), 103-106. <https://hrcak.srce.hr/file/24310>
29. Bunning, H., & Wall, E. (2022). The effects of weather on beef carcass and growth traits. *animal*, 16(11), 100657. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100657>
30. Busby, D. y D. Loy. (1997). Estrés por calor en ganado de engorde: resultados de la encuesta. *Beef Research Report No.:* Documento 26. Disponible en https://lib.dr.iastate.edu/beefreports_1996/26/
31. Calor Sensible y Latente. (2024). Keyter. Recuperado 31 de octubre de 2024, de <https://www.keyter.com/es/calor-sensible-y-latente/>
32. Canozzi, M. E. A., Clariget, J., Roig, G. M., Pérez, E., Aznárez, V., Banchero, G., & La Manna, A. (2022). Shade effect on behaviour, physiology, performance, and carcass weight of heat-stressed feedlot steers in humid subtropical area. *Animal Production Science*, 62(17), 1692-1705. <https://doi.org/10.1071/an22128>
33. Capó Santos, M. J., & Senosián Morales, V. (2015). Efecto de diferentes medidas de mitigación del estrés calórico sobre el comportamiento y desempeño productivos de vacas lecheras en Colonia, Uruguay. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/10495>
34. Casella, A., & Ciuffolini, A. (2005). https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/33-lectura_comedero.pdf. *Producción Animal*, 1. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/33-lectura_comedero.pdf
35. Castañeda, C., Gaughan, J. B., & Sakaguchi, Y. (2004). Relationships between climatic conditions and the behaviour of feedlot cattle. *Science Access*, 25(1), 33-36. <https://doi.org/10.1071/sa0401009>
36. Ceconi, I., Pighin, D. G., Davies, P., Cunzolo, S. A., Pazos, A. A., & Grigioni, G. M. (2022). Dietary inclusion of ruminally protected linseed oil as a means to mitigate heat and

slaughter-induced stress in feedlot cattle. En *Journal of Animal Science* 100 (3): 1-11. (March 2022). [Info:ar-repo/semantics/artículo]. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/jas/skac063>

37. Chauhan, SS, Zhang, M., Osei-Amponsah, R., Clarke, I., Sejian, V., Warner, R., & Dunshea, FR. (2023). Impact of heat stress on ruminant livestock production and meat quality, and strategies for amelioration. *Animal Frontiers*, 13(5), 57–67. <https://doi.org/10.1093/af/vfad046>

38. Chen, K. H., Huber, J. T., Theurer, C. B., Armstrong, D. V., Wanderley, R. C., Simas, J. M., Chan, S. C., & Sullivan, J. L. (1993). Effect of protein quality and evaporative cooling on lactational performance of Holstein cows in hot weather. *Journal of Dairy Science*, 76(3), 819–825. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77406-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77406-8)

39. Clariget, J.M., Banchero, G., Aznárez, V., Perez, E., Roig, G., Luzardo, S., Fernandez, E. y La Manna, A. (2018). Mitigación del estrés calórico en novillos terminados a corral. Mitigation of heat stress in feedlot fattening steers. *Revista Argentina de producción animal*; 38:1–13. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15539/1/Revista-Argentina-de-Produccion-Animal-2018.v.38.-no.1-Clariget.pdf>

40. Cochran, R.C., Adamns, D.C., Wallace, J.D y Galyean, M.L. (1986). Predicting digestibility of different diets with internal markers: Evaluation of four potential markers. *J. Anim. Sci.* 63:1476 – 1483.

41. Collier RJ, GE Dahl, MJ VanBaale. (2006). Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J Dairy Sci* 89, 1244-1253.

42. Collier, R. J., & Gebremedhin, K. G. (2015). Thermal Biology of Domestic Animals. *Annual Review Of Animal Biosciences*, 3(1), 513-532. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022114-110659>

43. Collier, R. J., Dahl, G. E., & VanBaale, M. J. (2012). Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(4), 1244–1253. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72193-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72193-2)

44. Crews, D. H., Jr., and G. E. Carstens. (2012). Measuring individual feed intake and utilization in growing cattle. Pages 21–28 in *Feed Efficiency in the Beef Industry*. R. A. Hill, ed. Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ.

45. Curtis, AK, Scharf, B., Eichen, PA, Spires, DE. (2017). Relaciones entre las condiciones ambientales, el estado térmico y el consumo de alimento del ganado durante el estrés por calor de verano con acceso a la sombra. *Revista de Biología Térmica* 63, 104-111. <https://doi.org/10.1016/j.jther bio.2016.11.015>

46. Davis, M.S., Mader, T.L., Holt, S.M. y Parkhurst, A.M. (2003). Strategies to reduce feedlot cattle heat stress: Effects on tympanic temperature. *Journal of Animal Science*. 81: 649–661.

47. Edwards-Callaway LN, Cramer MC, Cadaret CN, Bigler EJ, Engle TE, Wagner JJ, Clark DL. Impacts of shade on cattle well-being in the beef supply chain. *J Anim Sci.* (2021) Feb 1;99(2):skaa375. doi: 10.1093/jas/skaa375. PMID: 33211852; PMCID: PMC7853297.
48. Edwards-Callaway, LN, Cramer, MC, Cadaret, CN, Bigler, EJ, Engle, TE, Wagner, JJ, Clark, DL, (2020). Revisión: Impactos de la sombra en el bienestar del ganado en la cadena de suministro de carne. *Revista Animal Science* 99, 1-21. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa375>
49. Ehrlemark, A., y Sällvik, K. (1996). Un modelo de disipación de calor y humedad del ganado basado en propiedades térmicas. *Transactions of the ASABE*, 39, 187-194.
50. Eirich, R. L., Brown-Brandl, T. M., Mader, T. L., & Mayer, J. (2015). Feedlot heat stress information and management guide (NebGuide G2266). University of Nebraska–Lincoln Extension. <https://extensionpubs.unl.edu/publication/1789/html/view>
51. Engels, F. M., & Jung, H. G. (1989). Forage cell wall digestibility and ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 26(1-2), 87-104. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(89\)90059-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(89)90059-3)
52. Fass – Federation of animal Science Societies. (2010). Guide for the care and use of agricultural animals in research and teaching. VI. Beef cattle. 3° ed. Illinois, Estados Unidos. pp 61-73.
53. Fuquay, J. W. (1981). Heat Stress as it Affects Animal Production. *Journal Of Animal Science*, 52(1), 164-174. <https://doi.org/10.2527/jas1981.521164x>
54. Gaughan, J. B., Bonner, S. L., Loxton, I., Mader, T. L., Lisle, A., & Lawrence, R. (2008). Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 86(6), 1389–1397. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0484>
55. Gaughan, J. B., M. S. Davis, and T. L. Mader. (2004). Wetting and the physiological responses of 387 grain-fed cattle in a heated environment. *Aust. J. Agric. Res.* 55:253 – 260
56. Gaughan, J. B., Mader, T. L., Holt, S. M., & Lisle, A. (2008). A new heat load index for feedlot cattle1. *Journal Of Animal Science*, 86(1), 226-234. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0305>
57. Gaughan, J., S. Holt, G. Hahn, T. Mader y R. Eigenberg. (2000). Tasa de respiración: ¿es una buena medida del estrés por calor en el ganado? *Asia-Australas. J. Anim. ciencia*.13(Suplemento Vol C): 329–332. [hacer:10.5713/ajas.2019.0001ED](https://doi.org/10.5713/ajas.2019.0001ED)
58. Gaughan, J.B., V. Sejian, T.L. Mader, and F.R. Dunshea. (2019). Adaptation strategies: ruminants. *Anim. Front.* 9(1):47-53. doi:10.1093/af/vfy029
59. Gaughan, JB, Bonner, S., Loxton, I., Mader, TL, Lisle, A. y Lawrence, R. (2010). Efecto de la sombra sobre la temperatura corporal y el rendimiento de los novillos de corral de engorde. *Revista de Animal Science*, 88, 4056–4067. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-2987>

60. Gonzalez-Rivas, P.A., K. DiGiacomo, V.M. Russo, B.J. leury, J.J. Cottrell, and F.R. Dunshea. (2016). Feeding slowly fermentable grains has the potential to ameliorate heat stress in grain-fed wethers. *J. Anim. Sci.* 94:2981-2991. doi: 10.2527/jas.2016-0295
61. Grandin T. (2016). Evaluation of the welfare of cattle housed in outdoor feedlot pens. *Veterinary and Animal Science* 1–2,23–28. doi:10.1016/j.vas.2016.11.001
62. Habeeb, A., Gad, A., & Atta, M. (2018). Temperature-Humidity Indices as Indicators to Heat Stress of Climatic Conditions with Relation to Production and Reproduction of Farm Animals. *International Journal of Biotechnology and Recent Advances*, 1, 35–50. <https://doi.org/10.18689/ijbr-1000107>
63. Hahn GL, Nienaber JA (1993) Characterizing stress in feeder cattle. Report no. 4 (ARS-71). US Meat Animal Research Center.
64. Hahn GL, TL Mader, RA Eigenberg. (2003). Perspectives on development of thermal indices for animal studies and management. *Proc Symp Interactions between climate and animal production*, EAAP Technical series N° 7, Pp 31-44.
65. Herbut, P., Angrecka, S., Godyń, D., Hoffmann, G., (2019). The Physiological and Efectos sobre la productividad del estrés por calor en el ganado: una revisión. *Anales de ciencia animal* 19, 579–593.
66. Instituto Uruguayo de Meteorología. (2022). Características climáticas. En *Inumet*. Recuperado 2 de febrero de 2024, de <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/caracteristicas-climaticas>
67. Iowa State University. (2018). Heat Stress in Feedlot Cattle. *Extension And Outreach*, PMR 1016. https://aabp.org/resources/heat_stress_feedlot.pdf
68. Jaborek, Jerad. Michigan State University Extension. (2023). *Managing heat stress in the feedlot with nutrition*. Beef. <https://www.canr.msu.edu/news/managing-heat-stress-in-the-feedlot-with-nutrition>. Visitado el 12 de Julio del 2024.
69. Kadim, I., O. Mahgoub, W. Al-Marzooqi, D. Al-Ajmi, R. Al-Maqbali, and S. Al-Lawati. (2008). The influence of seasonal temperatures on meat quality characteristics of hot-boned, m. psoas major and minor, from goats and sheep. *Meat Sci.* 80(2):210-215. doi:10.1016/j.meatsci.2007.11.022
70. La Manna, A. (2014.). Previsión de estrés calórico en bovinos. *Revista INIA* N°63 p.1-8
71. Lees, A., J. Lees, V. Sejian, M. Sullivan y J. Gaughan. (2020). Influencia de la sombra en la puntuación de jadeo y las respuestas de comportamiento de Bos tauros y Bos indicus Ganado de corral de engorde para carga de calor. *Animal Science*. 60(2):305–315.
72. Macías-Cruz, U., O.R. Saavedra, A. Correa-Calderón, M. Mellado, N.G. Torrentera, A. Chay-Canul, M.A. López-Baca, and L. Avendaño-Reyes. (2020). Feedlot growth, carcass

characteristics and meat quality of hair breed male lambs exposed to seasonal heat stress (winter vs. summer) in an arid climate. *Meat Sci.* 169:108202. doi:10.1016/j.meatsci.2020.108202

73. Mader TL, Gaughan JB, Young BA, Albin R, Howes AD. (1999). Feedlot diet roughage level for Hereford cattle exposed to excessive heat load. *The Professional Animal Scientist.* 15(1): 53-62

74. Mader, T. L. (2003). Environmental stress in confined beef cattle. *Journal of Animal Science*, 81(E. Suppl. 2), E110–E119. https://doi.org/10.2527/2003.8114_suppl_2E110x

75. Mader, T. L., & Davis, M. S. (2004b). Effect of management strategies on reducing heat stress of feedlot cattle: Feed and water intake¹. *Journal Of Animal Science*, 82(10), 3077-3087. <https://doi.org/10.2527/2004.82103077x>

76. Mader, T. L., Davis, M. S., & Gaughan, J. B. (2002). Effects of sprinkling on feedlot microclimate and cattle performance. *Journal of Animal Science*, 80(11), 2657–2664. <https://doi.org/10.2527/2002.80112657x>

77. Mader, T. L., Davis, M. S., & Gaughan, J. B. (2007). Effect of sprinkling on feedlot microclimate and cattle behavior. *International Journal of Biometeorology*, 51(6), 541–551. <https://doi.org/10.1007/s00484-007-0093-8>

78. Mader, T. L., Holt, S. M., Hahn, G. L., Davis, M. S., & Spiers, D. E. (2002). Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *Journal Of Animal Science*, 80(9), 2373-2382. <https://doi.org/10.1093/ansci/80.9.2373>

79. Managing heat stress in feedlot cattle. (2021). UMN Extension. <https://extension.umn.edu/beef-feedlot/managing-heat-stress-feedlot-cattle>. Visitado el 25 de Agosto del 2024.

80. Mbuthia, J. M., Mayer, M., & Reinsch, N. (2021). Modeling heat stress effects on dairy cattle milk production in a tropical environment using test-day records and random regression models. *Animal*, 15(8), 100222. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100222>

81. McAllister, T. A., Cheng, K.-J., Okine, E. K., & Mathison, G. W. (1996). Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, 76(2), 231–243. <https://doi.org/10.4141/cjas96-035>

82. Mitlöhner, F.M., Morrow, J.L, Dailey, J.W., Wilson, S.C., Gaylyean, M.L., Miller, M.F. and McGlone, J.J. (2001). *J. Anim. Sci.* 79, 2327-2335.

83. Moore, J. E., Undersander, D. J., et al. (1993). Quantitative aspects of forage selection and intake by ruminants. *Journal of Dairy Science*, 76(7), 2202-2209. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77640-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77640-0)

84. Morrison, SR, M. Prokop y GL Lofgreen. (1981). Aspersión ganado para aliviar el estrés por calor. Temperatura de activación, duración de la aspersión y área del corral asperjada. *Trans. Soy. Soc. agricola Ing.* 24:1299–1300.
85. National Research Council. (2000). Nutrient requirements of beef cattle (7th ed.). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9791>
86. Olmo A. (2015). Nutrición en vaquillonas Recuperado 17 de noviembre de 2024, de https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria/63-nutricion_vaquillonas.pdf
87. Ortiz-Colón, G., S.J. Fain, I.K. Parés, J. Curbelo-Rodríguez, E. Jiménez-Cabán, M. Pagán-Morales, and W.A. Gould. (2018). Assessing climate vulnerabilities and adaptive strategies for resilient beef and dairy operations in the tropics. *Clim. Change* 146(1-2):47-58. doi:10.1007/s10584-017-2110-1
88. Osei-Amponsah, R., S.S. Chauhan, B.J. Leury, L. Cheng, B. Cullen, I.J. Clarke. and F.R. Dunshea. (2019). Genetic selection for thermotolerance in ruminants. *Animals (Basel)*. 9(11):18. doi:10.3390/ani9110948
89. Oyhanart, L. (2017). Estrés térmico en bovinos de carne. <https://www.ridaa.unicen.edu.ar/handle/123456789/1300>
90. Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology And Earth System Sciences*, 11(5), 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
91. Pordomingo, A. J. (2013). Feedlot. Alimentación, diseño y manejo. Facultad de Ciencias Veterinarias. UNLPam. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/187-inta_feedlot_2013.pdf
92. Portal INIA Previsión de estrés calórico en bovinos. (2024). Recuperado 31 de octubre de 2024, de <https://www.inia.uy:443/gras/Alertas-y-herramientas/Prevision-ITH-Vacunos>
93. Pratap, P., S.S. Chauhan, B.J. Leury, J.J. Cottrell, A. Joy, M. Zhang, and F.R. Dunshea. (2022). Reducing the fermentability of wheat with a starch binding agent reduces some of the negative effects of heat stress in sheep. *Animals (Basel)*. 12(11):13. doi:10.3390/ani12111396
94. Pratap, P., S.S. Chauhan, B.J. Leury, J.J. Cottrell, A. Joy, M. Zhang, and F.R. Dunshea. (2022). Reducing the fermentability of wheat with a starch binding agent reduces some of the negative effects of heat stress in sheep. *Animals (Basel)*. 12(11):13. doi:10.3390/ani12111396
95. Rovira, P. y J. Velazco. (2010). El efecto de lo artificial o lo natural sombra sobre la tasa de respiración, el comportamiento y el rendimiento de los novillos en pastoreo. *Nuev. celo. J. Agric. res.* 53(4):347–353. [doi:10.1080/00288233.2010.525785](https://doi.org/10.1080/00288233.2010.525785)

96. Rusche W. (2019). SDSU Extension. Feed Bunk Management. Disponible en: <https://extension.sdstate.edu/feed-bunk-management>.
97. Sammad, A., Wang, Y., Umar, S., Hu, L., Khan, I., Khan, A., Ahmad, & Wang, Y. (2020). Nutritional Physiology and Biochemistry of Dairy Cattle under the Influence of Heat Stress: Consequences and Opportunities. *Animals*, 10, 793. <https://doi.org/10.3390/ani10050793>
98. Santos, M. M. D., De Souza, J. B. F., Dantas, M. R. T., & De Macedo Costa, L. L. (2021). An updated review on cattle thermoregulation: physiological responses, biophysical mechanisms, and heat stress alleviation pathways. *Environmental Science And Pollution Research*, 28(24), 30471-30485. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14077-0>
99. Scanga, JA, KE Belk, JD Tatum, T. Grandin y GC Smith. (1998). Factores que contribuyen a la incidencia de la carne de res de corte oscuro. *J. Animal Science*.76:2040–2047. [hacer:10.2527/1998.7682040x](https://doi.org/10.2527/1998.7682040x)
100. Scholtz, M. M., McManus, C., Leeuw, K.-J., Louvandini, H., Seixas, L., Melo, C. B. D., Theunissen, A., & Naser, F. W. C. (2013). The effect of global warming on beef production in developing countries of the southern hemisphere. *Natural Science*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.4236/ns.2013.51A017>
101. Schütz, KE, NR Cox y LR Matthews. (2008). Qué importante qué es la sombra para el ganado lechero? Elección entre sombra o tumbado según diferentes niveles de privación de tumbado. *Animal Science*.114(3–4):307–318. [hacer:10.3168/jds.2009-2416](https://doi.org/10.3168/jds.2009-2416)
102. Sejian V, Bhatta R, Gaughan JB, Dunshea FR, Lacetera N. (2018). Review: adaptation of animals to heat stress. *Animal* 12(S2), s431–s444. [doi:10.1017/S1751731118001945](https://doi.org/10.1017/S1751731118001945)
103. Silanikov, N. (2000). Efectos del estrés por calor en el bienestar de rumiantes domésticos manejados extensivamente. *Science*.67(1–2):1–18. [hacer:10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7)
104. Silva, R. G., Maia, A. S. C., & Loureiro, C. M. B. (2020). Strategies for alleviating heat stress in livestock. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 49, e20200020. <https://doi.org/10.37496/rbz4920200020>
105. Simeone, A., Beretta, V., Elizalde, J.C., Cortazzo, D. y Viera, G. (2010). La problemática del verano en la cría y engorde de ganado de carne en condiciones de pastoreo y de corral. In: Ganadería a pasto, feedlot e industria frigorífica: ¿Es posible una integración de tipo «ganar-ganar» en la cadena de la carne? 12ª Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne, Facultad de Agronomía, Paysandú, Uruguay. pp. 56-63.
106. Sullivan, ML, Cawdell-Smith, AJ, Mader, TL, Gaughan, JB, (2011). Efecto del área de sombra sobre el rendimiento y el bienestar del ganado de corral de engorda con alimentación corta. *Revista Animal Science* 89, 2911-2925. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3152>

107. Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, 12(2), 57-61. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
108. Thorn, E.C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*. 12: 57-59.
109. Titto, CG, EA Titto, RM Titto y GB Mourão. (2011). Tolerancia al calor y los efectos de la sombra en el comportamiento de los toros Simmental en pasto. *Animal Science j*.82:591–600. [hacer:10.1111/j.1740-0929.2011.00872.x](https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2011.00872.x)
110. TL, Griffin, D. (2015). Manejo de ganado expuesto a condiciones ambientales adversas. *Clínicas Veterinarias de Norteamérica Food Animal Practice* 31, 247-258. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2015.03.006>.
111. Toledo, I., & Dahl, G. (2019). *IDENTIFICACIÓN DEL ESTRÉS TÉRMICO EN VACAS LECHERAS*. IFAS Extension. University Of Florida,. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/AN358>
112. Tucker, CB, DM Weary, J. Rushen y AM de Passille. (2004). Diseñar mejores ambientes para el descanso del ganado lechero. *Adv. Tecnología láctea*. En: Kennelly J., Editor; Alberta, Canadá: ciervo rojo.
113. United States Department of Agriculture. (2017). United States standards for grades of carcass beef. United States Department of Agriculture Agricultural Marketing Service Livestock, Poultry, and Seed Program, 1(1), 1-17. <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/CarcassBeefStandard.pdf>
114. USDA. (2017). United States standards for grades of carcass beef. Agricultural Marketing Services. Livestock, poultry and seed program. Washington, DC.
115. Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd ed.). Cornell University Press.
116. Veissier, I., E. Van Laer, R. Palme, CPH Moons, B. Ampe, B. Sonck, S. Andanson y FAM Tuytens. (2018). Estrés por calor en vacas en pastoreo y beneficio de la sombra en una región de clima templado. *En t. J. Biometeorol*.62:585–595. [hacer:10.1007/s00484-017-1468-0](https://doi.org/10.1007/s00484-017-1468-0).
117. Wagner, D. G. (1988). Mantenimiento o mejoramiento productivo del ganado durante épocas calurosas. *Revista de la Asociación Mendocina de Producción Animal*, Mendoza, 1(2):17-27. https://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/14-mejoramiento_productivo_durante_calor.pdf
118. West, J. W. (2003). Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131–2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
119. Zhang, M., F. Dunshea, R. Warner, K. DiGiacomo, R. Osei Amponsah, and S.S. Chauhan. (2020). Impacts of heat stress on meat quality and strategies for amelioration: a review. *Int. J. Biometeorol*. 64(9):1613-1628. doi: 10.1007/s00484-020-01929-6

120. Zhang, M., R.D. Warner, F.R. Dunshea, K. DiGiacomo, A. Joy, A. Abhijith, R. Osei-Amponsah, D.L. Hopkins, M. Ha, and S.S. Chauhan. (2021). Impact of heat stress on the growth performance and retail meat quality of 2nd cross (Poll Dorset×(Border Leicester Merino)) and Dorper lambs. *Meat Sci.* 181:108581. doi:10.1016/j.meatsci.2021.108581
121. Da Silva, R. G., La Scala Jr, N., & Tonhati, H. (2003). Radiative properties of the skin and haircoat of cattle and other animals. *Transactions of the ASAE*, 46(3), 913–918.
122. Gaughan, J. B., Mader, T. L., & Holt, S. M. (1999). Respiration rate – Is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 12(2), 288–292.

10.ANEXOS

Anexo 1. Infraestructura de los corrales utilizados en el estudio experimental.



Anexo 2. Registro del pesaje de las vaquillonas Angus.



Anexo 3. Consumo de las vaquillas Angus.



Anexo 4. Ingesta de agua.



Anexo 5. Frecuencia respiratoria y jadeo de las vaquillonas Angus.



Anexo 6. Manejo de las dietas.



Anexo 7. Uso de las formas de mitigación del calor.



Anexo 8. Proceso de secado de las muestras de la dieta en el laboratorio del INIA, La Estanzuela.

