

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A DIFERENTES ITH EN 5 DIFERENTES
RAZAS BOVINAS AL NORTE DEL URUGUAY**

por

Esteban DÍAS LOPEZ FROLA

Juan Manuel HERNÁNDEZ LEAL

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2024

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (PhD.) Paula Batista

Codirector/a:

Ing. Agr. (PhD.) Ana Carolina Espasandín

Tribunal:

Ing. Agr. Federico García Piñeyrúa

Ing. Agr. (MSc.) Celmira Saravia

Fecha: 13 de diciembre de 2024

Estudiante:

Juan Manuel Hernández Leal

Esteban Días Lopez Frola

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a las tutoras de este trabajo final de grado, Ing. Agr. (PhD.) Paula Batista e Ing. Agr. (PhD.) Ana Espasandín, por su constante disponibilidad para resolver nuestras dudas e inquietudes, así como por su compromiso y responsabilidad a lo largo del proceso.

Asimismo, queremos agradecer al Ing. Agr. Federico García, quien amablemente nos abrió las puertas de su establecimiento y nos proporcionó tanto los animales como las instalaciones necesarias para poder llevar a cabo el experimento.

También agradecer a nuestras familias por el apoyo a lo largo de todo el trayecto recorrido como estudiantes universitarios, y hacer posible el poder ser egresados de educación terciaria.

A las amistades y vínculos formados a lo largo de estos años como estudiantes de esta carrera de Ingeniería Agronómica, que fueron de acompañamiento y enriquecimiento para la formación profesional y personal.

A los docentes quienes nos formaron a lo largo de estos años, y aportaron sus conocimientos, como también experiencias, pensamientos y su pasión por la enseñanza, contribuyen año a año en la formación de profesionales.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
LISTA DE FIGURAS Y TABLA	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	9
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 EFECTO DEL AMBIENTE SOBRE LOS BOVINOS	10
2.2 ESTRÉS TÉRMICO EN BOVINOS.....	12
2.2.1 Homeotermia	12
2.2.2 Estrés térmico.....	14
2.3 SELECCIÓN GENÉTICA A FAVOR DE LA TOLERANCIA AL ESTRÉS CALÓRICO	19
2.4 RAZAS	21
3. HIPÓTESIS.....	24
4.1 PARÁMETROS EXPERIMENTALES GENERALES.....	25
4.1.1 Localización del experimento.....	25
4.1.2 Caracterización del sitio experimental.....	25
4.1.3 Descripción del experimento.....	26
4.2 CARACTERIZACIÓN DEL AMBIENTE METEOROLÓGICO.....	27
5. RESULTADOS	28
6. DISCUSIÓN.....	35
7. CONCLUSIÓN.....	38
8. BIBLIOGRAFÍA.....	39

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1 Variación de frecuencia respiratoria según edad y genotipo de animales, a temperatura del aire incremental	18
Figura 2 Ubicación del establecimiento, lugar experimental	25
Figura 3 Comparación de medias para la variable frecuencia respiratoria según raza e ITH.....	28
Figura 4 Comparación de medias para la variable temperatura rectal (°C) según raza e ITH.....	29
Figura 5 Comparación de medias para la variable temperatura en flanco (°C) según raza e ITH.....	30
Figura 6 Comparación de medias para la variable temperatura (°C) en la frente según raza e ITH.....	31
Figura 7 Comparación de medias para la variable variación del peso vivo según raza e ITH.....	32
Figura 8. Precipitaciones (mm) durante el periodo experimental.....	33
Figura 9 Evolución del índice de temperatura y humedad (ITH) durante el periodo experimental.....	34
Tabla 1 Color en frente, flanco y cantidad de animales por raza utilizados en el experimento.....	26
Tabla 2 Factores ambientales: Temperatura media, humedad e ITH en fechas de medición sobre los animales.....	27

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento frente al estrés térmico de las razas Aberdeen Angus, Hereford, Tulianguy, Brangus y Braford. Para esto se tomaron mediciones de frecuencia respiratoria, temperatura rectal, peso vivo, temperatura de frente y temperatura de flanco de terneros de 1 año de edad, tres días a lo largo del verano 2023-2024 en la localidad de Morató, departamento de Paysandú, predio perteneciente al Ing. Agrónomo y productor Federico García. Se realizó la comparación de medias de mínimos cuadrados para las variables mencionadas según raza e ITH. Se observaron diferencias significativas para todas las variables conforme aumentaba el ITH, siendo lo esperado según la bibliografía consultada. Sin embargo, entre los diferentes genotipos sólo se observaron diferencias significativas a un mismo ITH para las variables temperatura rectal y temperatura de frente, observándose una tendencia a mayor temperatura en estas zonas del animal para las razas británicas Aberdeen Angus y Hereford, mostrando ser más susceptibles frente al estrés térmico. En el caso de frecuencia respiratoria y temperatura de flanco aunque sí hubo una tendencia a mayores valores en las razas británicas Aberdeen Angus y Hereford, no se observaron diferencias significativas entre los diferentes genotipos a un mismo ITH. En ganancia media diaria, si bien no hubo diferencias significativas entre genotipos, sí hubo diferencias significativas entre los diferentes períodos evaluados.

Palabras clave: raza, edad, comportamiento, diferencia significativa, tendencia

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the behavior of the Aberdeen Angus, Hereford, Tulianguy, Brangus and Braford breeds against thermal stress. For this, respiratory rate, rectal temperature, body weight, forehead temperature and flank temperature measurements were taken from 1-year-old calves, three days throughout the summer of 2023-2024 in the town of Morató, Paysandú department, a property belonging to the agricultural engineer and farmer Federico García. A comparison of least squares means was made for the variables respiratory rate, rectal temperature, flank temperature and forehead temperature according to breed and THI. Significant differences were observed for all variables as the THI increased, which was expected according to the consulted bibliography. However, significant differences were only observed between the different genotypes at the same THI for the cases of rectal temperature and forehead temperature, with a tendency towards higher temperatures in these areas of the animal being observed for the British Aberdeen Angus and Hereford breeds, indicating that they are more susceptible to heat stress. In the case of respiratory rate and flank temperature, although there was a tendency towards higher values in the British Aberdeen Angus and Hereford breeds, no significant differences were observed between the different genotypes at the same THI. In average daily gain, although there were no significant differences between genotypes, there were significant differences between the different periods evaluated.

Keywords: breed, age, behavior, significant difference, tendence

1. INTRODUCCIÓN

A partir de información obtenida de la Oficina de Estadísticas Agropecuarias (DIEA, 2022) la carne bovina en el año 2022 ocupó el segundo lugar en exportaciones, alcanzando un total de 2.633.919 dólares, representando un 23,6% de las exportaciones de ese mismo año. En Uruguay la producción vacuna cuenta con 11,57 millones de cabezas (DIEA, 2022).

Por otra parte, la producción ganadera se ve afectada directamente por un aumento de la temperatura global causado por el cambio climático (Morrell, 2020). Existe un efecto directo de las altas temperaturas y la radiación solar que incide en los animales causando un efecto negativo sobre los mismos (Nardone et al., 2010).

Brown-Brandl et al. (2006) indicaron que los animales modifican su comportamiento habitual, reduciendo el tiempo de pastoreo, que según (Mader et al., 1997) repercute directamente en la ganancia de peso vivo. Estudios realizados por Beatty et al. (2004) han determinado que el ganado *Bos indicus* tiene mayor resistencia al calor en comparación al *Bos taurus* y esto podría deberse a su tasa metabólica de lípidos y carbohidratos.

Según Hafez (1972), en los sistemas de producción pastoriles a cielo abierto como los que existen en el país los animales están expuestos permanentemente al ambiente meteorológico, ocurriendo en algunas ocasiones estrés térmico a causa de variaciones meteorológicas a las que se someten durante un corto período de tiempo. A estos períodos desfavorables los animales hacen frente primordialmente a través de modificaciones fisiológicas y de comportamiento.

En Uruguay existen diferencias meteorológicas entre regiones en los meses más cálidos del año. En localidades ubicadas al norte del Río Negro en verano, se constata una mayor probabilidad de ocurrencia de eventos de elevada temperatura y humedad del aire, cuantificado a través del índice de temperatura y humedad medio diario (ITH) con valores por encima del umbral crítico de 72 para enero. Si bien se han realizado pocos estudios correspondientes a la incidencia del estrés térmico sobre el desempeño productivo, algunos trabajos nacionales demuestran que hay un efecto negativo del ambiente meteorológico sobre la producción animal (Cruz & Saravia, 2008).

Según Soares de Lima y Montossi (2014), en localidades al Norte del Río Negro sobre suelos de basalto, se concentra mayoritariamente la producción de carne en predios criadores, dado que la cría se adecúa a la estacionalidad de la producción del campo natural que tienen estos suelos. En el basalto la región agroecológica ocupa 4,1

millones de hectáreas, más del 23% de la superficie agrícola útil del país, además se concentra en el basalto el 38% del rodeo nacional bovino.

El presente trabajo pretende estudiar y evaluar la susceptibilidad al estrés calórico en terneros de un año de edad de las razas Tulianguy, Braford, Brangus, Aberdeen Angus y Hereford.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la resistencia al estrés calórico en animales de las razas bovinas, Aberdeen Angus, Hereford, Tulianguy, Brangus y Braford.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar en un sistema de ganadería a campo:

La resistencia al estrés térmico de diferentes razas bovinas, mediante mediciones específicas para determinar frente a condiciones ambientales iguales para cada raza, qué razas son más resistentes y cuáles más susceptibles. El estrés térmico se cuantificará a través de variables fisiológicas y productivas como: temperatura rectal (°C), temperatura corporal en frente y flanco (°C), frecuencia respiratoria (r.p.m), peso vivo (kg) y se relacionará a condiciones meteorológicas de la región.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 EFECTO DEL AMBIENTE SOBRE LOS BOVINOS

El estrés calórico afecta tanto el crecimiento del forraje como también al animal, esto se debe al efecto directo de las altas temperaturas y la radiación solar (Nardone et al., 2010). Cuando los animales están sometidos a condiciones de estrés calórico se constata un impacto negativo principalmente en los procesos de reproducción y digestión, dándose una disminución del rendimiento animal que a largo plazo comprometen la producción, reproducción y bienestar animal, entre otras (Huertas et al., 2020).

Siguiendo la misma línea, Beede y Collier (1986), Arias et al. (2008) y Suárez et al. (2012) mencionan que la producción animal puede verse afectada negativamente por factores como radiación, temperatura, humedad del aire y viento. Ante estas condiciones se puede dar estrés calórico sobre los animales incidiendo en procesos como; ingestión, digestión, respiración y circulación de la sangre, afectando el normal funcionamiento del organismo animal y conjuntamente su desempeño y producción.

Conforme a Geremia (2016), una mejora en el confort térmico permite a los animales destinar mayor tiempo al pastoreo y a la rumia, induciendo a una mejora en los rendimientos.

Según Wheelock et al. (2010), los impactos negativos del estrés por calor serán más graves hacia el futuro, como consecuencia del aumento en el calentamiento global y también por una mayor selección genética continua, con el fin de obtener mayor producción. Un mínimo aumento en la temperatura crítica superior puede perjudicar gravemente al ganado. Esto obliga a los productores a hacer frente a este desafío para cumplir con la demanda en producción de carne del mercado.

Varios autores han identificado estrategias para minimizar los efectos del estrés calórico a través de: modificaciones físicas del ambiente (sombra, enfriamiento por aspersión), desarrollo de biotipos tolerantes al calor y manejos nutricionales (Beede & Collier, 1986).

El nivel de carga de calor en el animal puede ser estimado a través de factores ambientales como: temperatura, humedad relativa, radiación solar y frecuencia de días extremadamente calurosos (Roth, 2020).

Existe un índice biometeorológico denominado índice de temperatura y humedad (ITH), el cual está calculado con, según INIA Uruguay (2018), temperatura del aire y humedad relativa, para que ocurra estrés térmico en los animales de producción se

deben de presentar temperaturas elevadas, acompañadas de alta humedad relativa (Thom, 1959).

Existen distintas categorías de estrés calórico en función de la magnitud del ITH:

- 1) normal, menor o igual a 74;
- 2) alerta, ITH entre 74 y 78 donde se recomienda tomar medidas de enfriamiento;
- 3) peligro, ITH entre 79 y 83 donde la producción se ve altamente disminuida; y
- 4) emergencia, ITH mayor a 84 pudiendo ocurrir la muerte del animal (Livestock Conservation Institute, como se cita en Nienaber & Hahn, 2007).

El ITH se estima mediante la siguiente fórmula: $ITH = (1,8 TA + 32) - (0,55 - 0,55 HR) \times (1,8 TA - 26)$

TA= temperatura del aire (°C) índice de temperatura y humedad

HR = humedad relativa - en base decimal (Fernández et al., 2022).

El índice fue desarrollado para humanos por Thom (1959), y luego se ajustó para bovinos (Johnson et al., 1961).

Se encontraron valores de ITH por encima del nivel crítico (72) en el norte del Río Negro en el mes de enero, en una caracterización climática (estival promedios históricos mensuales de la serie 1961-1990 de los meses de diciembre a marzo) realizada por Cruz y Saravia (2008).

Conforme con Navas (2010), el principal factor ambiental que incide sobre el estrés calórico es la temperatura del aire, la cual se encuentra asociada a la radiación solar que incrementa la ganancia de calor en el animal, lo que se complementa con lo mencionado por Morrell (2020), indicando que, los dos primeros factores mencionados anteriormente son los agentes que más influyen en la causa del estrés por calor.

Los bovinos tienen la capacidad de adaptarse a un amplio rango de condiciones ambientales, pudiendo ser afectados por olas de calor inesperadas. Esta última se define como condiciones meteorológicas de elevadas temperaturas y humedad en días consecutivos, que se combinan con bajo flujo de aire o cubierta de nubes, que generan períodos de discomfort, especialmente si estas condiciones continúan durante un período de tres días seguidos o más, sin haber un alivio significativo durante la noche de las condiciones ambientales adversas mencionadas anteriormente (Nienaber et al., 2003).

Gallardo y Valtorta (2011) indican que la radiación solar es el principal factor determinante de los intercambios de calor de un animal con el ambiente estando expuesto al mismo.

Al verse limitada la tasa de disipación de calor y la misma es superada por la producción de calor interna del animal, como consecuencia se da una reducción del tiempo de pastoreo, se incrementa el ritmo cardíaco y respiratorio, así como también de la temperatura corporal, aumentando también el tiempo de permanencia e inactividad en la sombra y el consumo de agua (Rodríguez et al., como se cita en Leaños, 2008).

Findlay y Yang (1950) mencionan la existencia de dos tipos de sudoración, uno ocurre de manera insensible y en todo momento y otro que es dependiente del gradiente de humedad entre la superficie del animal y el aire que lo rodea. La tasa de sudoración se da por el número de glándulas sudoríparas con el que cuentan los bovinos debido a que se encuentran una por cada folículo piloso.

Los bovinos que presentan pelos cortos, lisos y brillosos (slick hair), tienen menores temperaturas corporales superficiales respecto a los animales de pelaje medianamente largo y opaco (Olson et al., 2002).

Existe una escala de jadeo que se mide a través de la apreciación visual que permite medir la magnitud del estrés calórico, presentando un score de cinco niveles que se ordenan de menor a mayor impacto en el animal, siendo el nivel cinco en donde se observan animales con la boca abierta, poco o ningún consumo de alimento y un babeo excesivo (Gaughan et al., 2008).

2.2 ESTRÉS TÉRMICO EN BOVINOS

2.2.1 Homeotermia

Se define homeotermia al mantenimiento de la temperatura interna del animal dentro de determinados límites, en un ambiente en donde las condiciones meteorológicas tales como; temperatura y movimiento del aire, radiación y humedad pueden presentar una amplia variación (Kadzere et al., 2002; Yousef, 1985). El animal se encuentra en estado de homeotermia cuando, todo el calor producido y ganado del ambiente es perdido por el animal (Kadzere et al., 2002).

Para ganado de carne el rango de confort térmico se encuentra entre -5°C y 29°C (Chacón Cruz, 2019). Los animales al encontrarse en homeotermia, existe un rango de temperaturas muy estrecho que se denomina zona de confort en el cual el animal se encuentra estable sin ser necesario activar los mecanismos de autorregulación térmica. Por otra parte, si la temperatura del aire sube por encima de

los 26°C en caso de los animales *Bos indicus* y 16°C en caso de animales *Bos taurus*, se activan los mecanismos de termorregulación, aumentando la respiración del animal y vaporización, siendo los principales mecanismos de disipación calórica en bovinos y posteriormente se eleva la temperatura corporal (Harmer et al., como se cita en Roca, 2011).

Al igual que todos los mamíferos, los bovinos son animales homeotermos, lo cual es esencial para diferentes reacciones bioquímicas y procesos fisiológicos que se encuentran asociados con el metabolismo normal. Por otra parte, también es importante para el funcionamiento de los tejidos cerebrales (Shearer & Bray, como se cita en Leños, 2008).

Si la temperatura crítica superior es superada por la temperatura ambiental, aumentan los esfuerzos por parte del animal por mantener la homeotermia y pierden prioridad los procesos productivos (Johnson et al., 1961), determinando que los costos para mantener la temperatura interna constante aumenten (Gallardo & Valtorta, 2011). Roth (2020) complementa esta perspectiva al indicar que, al ocurrir lo mencionado anteriormente, la alternativa fisiológica del animal para el intercambio de calor con el ambiente será la sudoración y el jadeo. Además, Spiers (2012) añade que, si la temperatura interna del animal se eleva excediendo las pérdidas, en ese punto el calor se acumula en el cuerpo causando estrés. Este estrés se define como cualquier condición o agente que altere el estado de un sistema biológico. Por otra parte, la temperatura crítica superior es aquella a partir de la cual se debe dar un incremento de las pérdidas por evaporación con el fin de mantener el balance calórico (International Union of Physiological Sciences [IUPS], 2001).

Algunas características del animal como la especie, raza, edad, materia seca ingerida, composición de la dieta, aclimatación previa, composición de los tejidos y comportamiento animal pueden definir la zona termoneutral. Según Johnson (1987), la zona termoneutral (ZTN) es aquella en la cual se da una temperatura rectal normal, mínima tasa de producción de calor, con el mínimo costo fisiológico y máxima productividad.

Al aumentar la temperatura del aire, se incrementa la temperatura corporal evidenciándose en la temperatura rectal y aumenta la frecuencia respiratoria para disipar rápidamente el calor interno (Ferreira et al., 2006; Hahn, 1997; Leva et al., 2005) logrando de esa manera mantener la homeotermia (Ribeiro et al., 2018). El aumento de la temperatura rectal es un efecto natural, mecanismo que le permite al animal disipar la carga de calor adicional con el fin de mantener el estado térmico del animal (El-

Tarabany et al., 2017). Previo al aumento de la temperatura corporal, se da un incremento de la frecuencia respiratoria que ocurre entre 5 y 2 horas aproximadamente luego del inicio de la exposición a elevadas temperaturas, respectivamente (Brown-Brandl et al., 2003).

Marai et al. (2007) indican que, durante el verano, una alta temperatura rectal, es indicativo de la incapacidad de los animales para mantener la temperatura corporal normal.

Hay una correlación negativa entre la tasa de sudoración y la temperatura rectal, y una correlación positiva con el tiempo de exposición a la radiación solar dentro de la pastura y la temperatura rectal (Finch et al., 1982).

Algunos estudios informaron un aumento de la frecuencia del pulso y la temperatura rectal en la ganadería durante la estación de verano (Al-Haidary et al., 2012; Panda et al., 2016). Según Valente et al. (2015) una frecuencia de pulso más alta permite que los animales expuestos a altas temperaturas disipen más calor a su entorno como consecuencia de un aumento del flujo sanguíneo a sus superficies corporales.

2.2.2 Estrés térmico

Cuando se habla de estrés térmico se hace referencia a condiciones ambientales adversas para el animal, pudiendo ser de origen meteorológico, social, fisiológico, o la combinación de los mismos (Starr, 1988). Cuando los animales están expuestos a estrés por calor, no logran mitigar las condiciones externas mediante sus mecanismos fisiológicos normales del cuerpo (Morrell, 2020).

Las condiciones ambientales, susceptibilidad individual de los animales y manejo del ganado son los tres componentes combinados que tendrán diferente resultado frente al estrés por calor. Dentro de los componentes ambientales están: temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar. La susceptibilidad individual de los animales se ve influenciada por factores como color de pelaje, sexo, temperamento, historial de salud previo, aclimatación y puntuación de condición corporal. Mientras que los factores de manejo se pueden dividir en cuatro categorías: alimento, agua, influencias ambientales, y manejo (Brown-Brandl, 2018).

Hafez (1972) menciona que cuando el animal se encuentra bajo estrés térmico, se dan tres tipos de procesos para su regulación; unidad termostática de control, sensores y receptores. Cuando el estrés térmico alcanza una situación crítica aguda se debe a que se dan cambios fisiológicos rápidos y se expresa un comportamiento denominado síndrome de emergencia de Cannon o síndrome de “huida o escape”.

También indica que la temperatura, humedad del aire, radiación solar, velocidad del viento y precipitaciones, son las variables climáticas que más influyen en el confort de los animales, pudiendo actuar de dos modos, siendo estos; interacción directa con la piel y el pelo, y/o afectando los receptores que se encuentran en la piel del animal o en la retina de los ojos. Los mecanismos compensatorios se activan cuando los receptores de la piel transmiten la información que reciben hacia el cerebro.

Complementando lo mencionado anteriormente, Bianca (1965) indica que la forma en que se aplica el estrés calórico se define por el efecto de las altas temperaturas ambientales en la producción de calor metabólico. Si el mismo se aplica de forma aguda, por ejemplo, cuando el animal está expuesto a elevadas temperaturas por un corto periodo de tiempo, se eleva la producción de calor metabólico, por otra parte, si se aplica de forma crónica, por ejemplo, cuando el animal está expuesto a una elevada temperatura de forma sostenida por un prolongado periodo de tiempo, disminuye la producción de calor, denominándose aclimatación.

Cerca del 15% del calor endógeno se pierde a través de las vías respiratorias (McDowell et al., 1976), lo que se complementa con lo mencionado por Kadzere et al. (2002), el resto del calor se conduce hacia la superficie del animal donde es disipado por radiación, conducción, convección y principalmente a través de procesos evaporativos. La exposición del animal al calor del ambiente aumenta la temperatura de la piel, alterando el flujo sanguíneo dándose una redistribución hacia la superficie de esta (Maibam et al., 2017).

Los cambios en el flujo sanguíneo y el inicio de la sudoración se manifiestan inicialmente como una respuesta anticipada al estrés térmico, siendo el aumento de la frecuencia respiratoria el primer síntoma visible (Gallardo & Valtorta, 2011).

Para Renaudeau et al. (2012) el incremento de la frecuencia respiratoria es uno de los mecanismos fisiológicos primarios por el cual el ganado disipa el calor corporal mediante evaporación respiratoria, frente al estrés por calor.

Según Brown-Brandl et al. (2005) la frecuencia respiratoria es el indicador más apropiado para monitorear el estrés calórico, siendo este afectado por todas las categorías de ITH. El ITH además de ser un indicador fácil de estimar, es de bajo costo presentando menor variación, en comparación con la medida de consumo y temperatura corporal (Livestock Conservation Institute, como se cita en Nienaber et al., 2004).

Conforme con Nienaber y Hahn (2007), se estimaron equivalencias entre la frecuencia respiratoria y las diferentes categorías de ITH a través de relaciones funcionales. Valores de frecuencia respiratoria <90, 90-110, 110-130 y >130

respiraciones por minuto para la categoría normal, alerta, peligro, y emergencia, respectivamente.

Se evaluó la tolerancia al calor, medida como temperatura rectal, de distintas razas en diferentes condiciones ambientales en Florida, Estados Unidos (Hammond et al., 1998). En la fecha de medición más fría (6 de diciembre, invierno, con ITH de 73), no se encontraron efectos de la raza sobre la temperatura rectal, resultados similares se encontraron en las fechas de medición del 22 y 29 de noviembre con valores de ITH de 76 y 79 respectivamente. En la fecha de medición cálida, (3 de agosto, verano, con ITH de 85), la temperatura rectal fue significativamente más baja en la cruce Senepol x Aberdeen Angus respecto a Senepol o Tuli x Senepol, también se obtuvieron resultados similares en la medición del 20 de julio con ITH de 80. En base a los resultados obtenidos en el experimento, la tolerancia al calor parece ser un rasgo dominante, lo cual es consistente con otros trabajos realizados por otros autores. También para Hammond et al. (1996) la temperatura rectal es el índice más útil de tolerancia al calor en sus condiciones de campo.

Kibler (1957) midió valores de temperatura rectal más bajos en terneros *Bos indicus* de la raza Brahman que en terneros *Bos taurus* de la raza Shorthorn.

Dowling (1955) indica haber encontrado diferencias en la densidad de glándulas sudoríparas, esto se complementa con lo investigado por Hansen (2004) y Carvalho et al. (1995), encontrando diferencias en actividad e histología. Estas diferencias son a favor de animales *Bos indicus* respecto a *Bos taurus*. Finch (1986) reafirma lo mencionado anteriormente, encontrando diferentes respuestas al estrés calórico según biotipos, presentando mayor sensibilidad los *Bos taurus* respecto a *Bos indicus*, debido a que estos últimos logran mantener la temperatura rectal más constante por una mayor densidad de glándulas sudoríparas (Dowling, 1955) y mayor tasa de sudoración (Finch et al., 1982).

A partir de estudios histológicos de las glándulas sudoríparas, se encontró que el tamaño y la distancia de estas con la piel es menor en verano, coincidiendo con la mayor actividad observada en esta época del año (Ferreira et al., 2009).

En un trabajo realizado por Batista (2016), en el cual se evaluaron las razas Hereford pura y la cruce Bonsmara-Hereford, no hubo diferencias significativas en temperatura de frente y flaco comparando ambos genotipos.

Según Navas (2010), el calor metabólico producto de la fermentación ruminal, no es eliminado de forma eficiente, causando una disminución del consumo voluntario.

También según Hafez (1972), los mecanismos de defensa contra el calor determinan un aumento en el costo energético.

A consecuencia de esto se da una reducción del consumo de materia seca, menor producción de leche y una reducción de grasa y proteína obteniendo menor performance reproductiva con una reducción de la tasa de crecimiento en los terneros (La Manna et al., 2014).

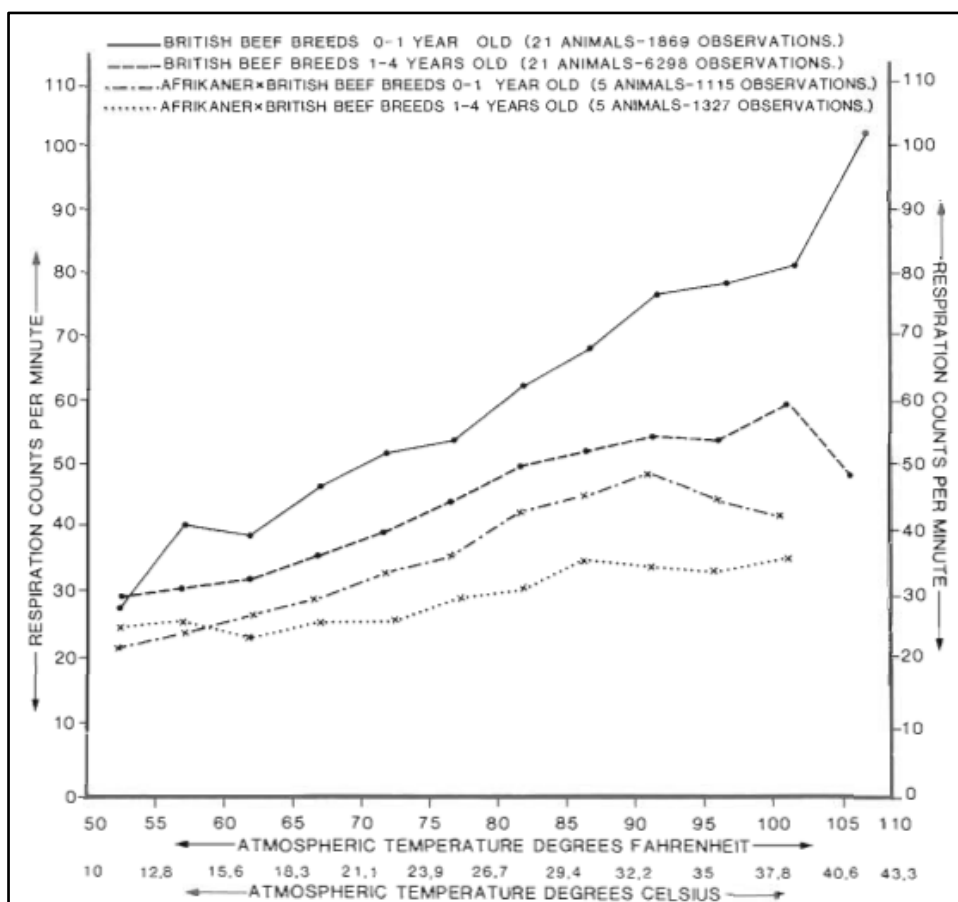
Silanikove y Koluman (2015) afirmaron que durante el estrés calórico los animales poseen características morfológicas como mayor tamaño de glándulas salivales, mayor superficie de mucosa absorbente y capacidad de aumentar considerablemente el volumen del tracto digestivo cuando están consumiendo alimentos ricos en fibra. Según Khalifa (2003) se puede dar una adaptación morfológica en los animales que influye en características de los animales como; pelaje, tipo de pelaje, largo de pelaje, densidad de pelaje, almacenamiento de grasa en la joroba o la cola especialmente en condiciones desérticas, color de piel y tamaño corporal, evolucionando según la temperatura predominante en su zona agroecológica.

Foster et al. (2009) en Zastron, Sudáfrica, observaron vacas (10 por raza) Afrikaner, Bonsmara, Braford, Charolais, Drakensberger y Simmental. Estos autores destacaron que las razas Simmental y Charolais son más propensas a sufrir estrés por calor ya que presentaban elevada temperatura rectal y frecuencia respiratoria respecto a las demás razas en días calurosos.

Bonsma (1985) demuestra (Figura 1) que a altas temperaturas del aire (32,2°C a 37,6°C) los animales cruce Afrikaner-Británica presentan en frecuencia respiratoria menores valores con rangos de 30-50 respiraciones por minuto (rpm) respecto a animales Británicos puros con 50-100 rpm. Esto muestra que los animales británicos a altas temperaturas del aire son más susceptibles a sufrir estrés térmico, reflejándose en un aumento de la frecuencia respiratoria.

Figura 1

Variación de frecuencia respiratoria según edad y genotipo de animales, a temperatura del aire incremental



Nota. Tomado de Bonsma (1985).

El color y textura de un cuerpo influye en la cantidad de radiación absorbida por el mismo, en este sentido Pocay et al. (2001) señalan que, animales de pelaje oscuro absorben mayor radiación que los de pelaje claro, lo cual se complementa con lo dicho por Gebremedhin, como se cita en Gebremedhin (2012) de que animales de pelaje claro presentan menores valores de temperatura al ser expuestos a un mismo ambiente.

Los procesos homeostáticos repercuten en la tasa cardíaca, flujo sanguíneo y vasodilatación periférica, por otra parte se dan efectos negativos en el flujo de sangre hacia los órganos reproductivos y aumentos del flujo de sangre a la superficie del animal en donde el calor puede ser disipado (Roman-Ponce et al., 1978).

El crecimiento es el aumento de la masa corporal viva o la multiplicación de células y se encuentra controlado genética y ambientalmente. El estrés por calor reduce el peso corporal, la ganancia media diaria y la condición corporal (Sejian et al., 2016). Esto se da por lo ya mencionado, el estrés calórico disminuye la ingesta de materia

seca, lo que puede influir negativamente en el crecimiento del animal (Chase, 2006 como se cita en Angel et al., 2018).

La conducción de calor entre los diferentes tejidos y la convección por el torrente sanguíneo, inciden sobre el flujo de calor desde el núcleo central del organismo hacia la superficie, por lo tanto, debido a la gran masa corporal que presentan los bovinos, este mecanismo es de gran relevancia para disipar el calor producido por el organismo del animal (Kadzere et al., 2002).

Según Miller (2007) el estrés por calor extremo produce un aumento del pH y un color más oscuro de la carne. Para Bhat et al. (2017) estos cambios se deben a la exposición constante del ganado vacuno a temperatura ambiente alta hasta el momento previo al sacrificio. La respuesta al estrés adrenérgico se activa al inducirse la vasodilatación periférica y glucogenólisis muscular como resultado de la actividad de la adrenalina. La condición de hipertermia y el ejercicio físico excesivo antes del sacrificio resultan en carne más dura y esto se atribuye al efecto de acortamiento por calor (Angel et al., 2018).

Por el contrario, los hallazgos de Nardone et al. (2006) revela que las temperaturas ambientales altas favorecen el marmoleado de la carne y también el depósito de grasa en regiones subcutáneas.

2.3 SELECCIÓN GENÉTICA A FAVOR DE LA TOLERANCIA AL ESTRÉS CALÓRICO

Según Carabaño (2015), la selección genética de animales tolerantes representa una solución de efecto permanente además de tener un costo relativamente bajo si el mismo se integra con esquemas de selección ya establecidos para otras características. También menciona que esta selección presenta algunos desafíos debido a la complejidad que tienen los mecanismos que determinan la tolerancia al estrés y del antagonismo que esta tiene con el nivel de producción.

La respuesta al estrés calórico se encuentra influenciada por una variedad de mecanismos que actúan bajo control genético. Para esto Collier et al. (2008) agruparon en tres categorías estos genes: 1) Genes asociados a las propiedades del pelo y piel, en los que Olson et al. (2003) encontraron un gen mayor que regula el tipo de pelo; 2) genes que influyen en la respuesta celular y 3) genes que tienen relación con la respuesta sistémica al estrés térmico. Para estos autores, los cambios de expresión de genes bajo efecto del estrés térmico engloban: 1) la activación del factor de transcripción de choque térmico 1 (HSF1); 2) un aumento de la expresión de las proteínas de choque térmico (HSPs) y disminución de la expresión y síntesis de otras proteínas, 3) la oxidación de la glucosa y aminoácidos aumentan y se reduce el metabolismo de ácidos

grasos, 4) se da una activación del sistema endocrino de respuesta a estrés y 5) activación del sistema inmune por vía de secreción extracelular de HSPs.

Desde un enfoque celular, los cambios de expresión génica inducidos por estrés calórico se pueden resumir en: 1) inhibición de la síntesis de ADN, también de la transcripción a ARN y de la traducción; 2) una inhibición de la progresión a través del ciclo celular; 3) una desnaturalización y malagregación de proteínas; 4) la degradación de proteínas aumenta; 5) Componentes del citoesqueleto se disrupcionan; 6) conducción a una reducción neta del ATP celular por alteraciones del metabolismo; 7) aumento de iones Na⁺, H⁺ y Ca²⁺ por cambios en la permeabilidad de la membrana celular. Por lo tanto, son varios los genes que se asocian en respuesta al estrés calórico, afirmando aún más la posibilidad de selección, pero también de su complejidad (Sonna et al., 2002).

Según Hansen (2004) las razas bovinas de origen *Bos indicus* o razas originarias del *Bos taurus* que hayan sido criadas durante mucho tiempo en climas cálidos manifiestan mayor regulación de la temperatura corporal en ambientes con presencia de alta carga térmica. Los mecanismos que facilitan esta regulación parecen originarse en diversas fuentes: Las propiedades de la piel y el pelaje que promueven la disipación del calor corporal, junto con una menor tasa metabólica, y una mayor capacidad citoprotectora, observada en células linfocitarias, ovocitos y en las primeras etapas del desarrollo embrionario (Hansen, 2004). Berman (2011) sostiene que la adaptación ancestral de estas razas a entornos con disminuida disponibilidad de alimentos, al menos de manera estacional debido a las altas temperaturas, podría haber favorecido la selección de animales con una tasa metabólica reducida. Esto potenciaría una mayor termotolerancia al estrés por calor, aunque limitaría el aumento en los niveles de producción incluso cuando las condiciones nutricionales mejoran

Más allá de los avances en la comprensión de los procesos metabólicos, fisiológicos, y celulares que determinan la respuesta al estrés por calor, aún persisten numerosas incógnitas en la selección de animales que sean tolerantes al estrés calórico y que, al mismo tiempo, puedan mantener niveles productivos óptimos que aseguren la sostenibilidad económica (Wickramasinghe et al., 2014)

Otro enfoque prometedor en la selección de animales tolerantes al estrés por calor es la identificación de fenotipos que permitan distinguir con mayor precisión entre individuos resistentes y susceptibles. Un ejemplo de esto es el uso de la temperatura corporal, para la cual Dikmen et al. (2012) estimaron una heredabilidad de 0,17. No obstante, el principal obstáculo de esta medida es su costo relativamente alto, lo que

limita su aplicación en programas de selección a gran escala. A pesar de ello, el desarrollo de dispositivos de medición automatizados con costos cada vez más bajos, podría hacerla más accesible.

Hay un desafío dentro de la investigación en producción animal en cuanto a la selección para mejorar la tolerancia al estrés calórico, pero están a disposición herramientas genómicas y fenotípicas que en conjunto con el diseño de una experimentación multidisciplinar permitirían avanzar en la identificación de los mecanismos que determinan la tolerancia al estrés calórico haciendo uso de material genético de razas seleccionadas y de razas adaptadas al calor (Carabaño, 2015).

La frecuencia respiratoria es una medida de tolerancia al calor altamente repetible, los datos obtenidos son difíciles de interpretar y no muestran una correlación lo suficientemente consistente con la temperatura corporal que permita una evaluación integral basada únicamente en esta variable. En contraste, la temperatura corporal, aunque menos repetible, parece ser un indicador más fiable de la tolerancia al calor, proporcionando resultados más coherentes y razonables. Siguiendo la misma línea, la estimación de la heredabilidad de la temperatura corporal (entre 15 a 30 %) es coherente con lo encontrado para los registros de producción individuales de bovinos. Esto implica que la descendencia de los padres seleccionados por su tolerancia al calor se esperaría que retuviesen del 15 al 30 por ciento de la ventaja que los padres tenían sobre el promedio del rebaño o raza (Seath & Miller, 1947).

2.4 RAZAS

La raza Tulianguy se creó en 2008 en Uruguay siguiendo el objetivo de contar con una raza sintética capaz de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas, con excelente producción y calidad de carne. Presentando la capacidad de satisfacer los requerimientos del sistema criador, como también invernador y la industria frigorífica. Desarrollada por el Ing. Agr. Federico García Piñeyrúa, compuesta por tres razas; 25% Tuli, 25% Limousine y 50% Aberdeen Angus (García Pintos, 2020).

El rendimiento de la raza en la industria está en el entorno del 56% en novillos y el 53% en vacas, siendo mayor a razas británicas puras. La vaca Tulianguy combina las características maternas de las tres razas, obteniendo terneros pesados y con gran desarrollo. Presentan alta fertilidad, aptitud materna, baja edad al primer servicio, y culminada su etapa reproductiva son animales de muy buena calidad y producción cárnica (García Pintos, 2020).

Por otra parte, el toro Tulianguy tiene gran rusticidad, precocidad y desempeño reproductivo, permitiendo que se desempeñe en grandes áreas con características

extremas como condiciones ambientales adversas. Se destaca su precocidad sexual y buen desempeño reproductivo (García Pintos, 2020).

Estrada (2018) menciona que la raza Tuli es de origen sanga africano, de gran tamaño, pesados y sin cuernos. En su mayoría los colores son de rojo, rojo y blanco y marrón dorado. Son animales con alta fertilidad, adaptabilidad, rusticidad y excelente calidad de carne, teniendo buena resistencia a parásitos y enfermedades. La mayoría de los animales de esta raza fueron desarrollados en ambientes adversos, con alta temperatura y baja disponibilidad de agua, en los cuales se adaptaron y evolucionaron.

La raza Limousine es de origen francés, se destaca por características tales como; facilidad de parto, bajo peso al nacer, rápido crecimiento, rusticidad, docilidad, gran y duradera capacidad de producir leche, presentando rendimientos de canal superiores al 65% (Asociación Portuguesa de Criadores de Ganado Limousine, 2024).

Aberdeen Angus es una raza británica originaria de Aberdeenshire, norte de Escocia. Es una raza cárnica siendo de las más distribuidas en el mundo debido a su gran capacidad de adaptación a ambientes templados.

Su pelaje puede ser de color negro o colorado, uniforme y pigmentado, una conformación de talla media (menor que Hereford), su cabeza es pequeña, amplia en la frente y sin cuernos (Gasque Gómez, 2008).

Es una raza cárnica con madurez temprana, engrasamiento precoz, pudiendo tener una ganancia de peso diaria entre 1,15 y 1,28 kg. El peso adulto en machos puede alcanzar entre 900 a 1000 kg, mientras que en hembras alrededor de 550 y 700 kg. Son animales de buena fertilidad y longevidad presentando las hembras buena habilidad materna y facilidad de parto. En cuanto a la carne es de buena calidad, con buen marmoreo, ternura y sabor, además de tener alta eficiencia de conversión del alimento (Oosthuizen, 2024; Gasque Gómez, 2008).

Por otro lado, Hereford se origina en Inglaterra, es una raza cárnica de alto rendimiento, destacada por su mansedumbre y buen temperamento. Su color es colorado, pudiendo tener manchas blancas en la cabeza, parte posterior de las orejas, pecho, vientre, parte inferior de los miembros y punta de la cola. Posee muy buena fertilidad y habilidad materna, con adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas siendo una raza rústica. Presenta bajo peso al nacer, de 32 a 35 kg, y se pueden obtener ganancias medias diarias de alrededor de 0.9 kg (Gasque Gómez, 2008).

Tiene buena eficiencia de conversión y posee abundante grasa de cobertura y visceral (Carvajal & Martínez, 2021).

La raza Brangus está compuesta por la cruce de Aberdeen Angus y Brahman. Esta raza posee características altamente favorables de las dos razas maternas. Resulta en un animal que es superior a la fundación materna original.

De la Brahman conserva resistencia a enfermedades y sobre todo rusticidad, con alta docilidad, sobresaliente producción de leche con adaptación a su producción en condiciones de deficiente alimentación. Presenta facilidad al parto, bajo peso al nacer, alta fertilidad, alta producción de leche, y además esta raza es apreciada por su gran longevidad.

Por otra parte, de la Aberdeen Angus se destaca su calidad de carne, con facilidad en deposición de grasa intramuscular a una edad relativamente más temprana que el resto de las razas. La vaca Brangus combina las características de ambas razas y permite destetar terneros más pesados que ambas (Lagos, 2024).

El objetivo de creación de la raza Braford, se basó en cubrir la necesidad ganadera existente en un territorio donde otras razas no lograron prosperar a consecuencia de las adversas condiciones climáticas presentes (Asociación Braford Argentina, 2024).

Es una raza sintética con base de sangre Brahman principalmente, y Nelore (*Bos indicus* sp.) con proporción Hereford. Obteniendo un biotipo que se caracteriza por su alta producción aún en condiciones ambientales adversas, obteniendo alta eficiencia de conversión del alimento, alta resistencia a enfermedades, baja selectividad al pastoreo, buena fertilidad, facilidad de parto, habilidad materna, longevidad, temperamento dócil y gran plasticidad (Asociación Braford Argentina, 2024).

3. HIPÓTESIS

La raza Tulianguy tiene mayor resistencia al estrés calórico en comparación a las razas Aberdeen Angus y Hereford. Además, las razas Brangus y Braford también son más resistentes al estrés térmico en comparación a las razas británicas Aberdeen Angus y Hereford.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

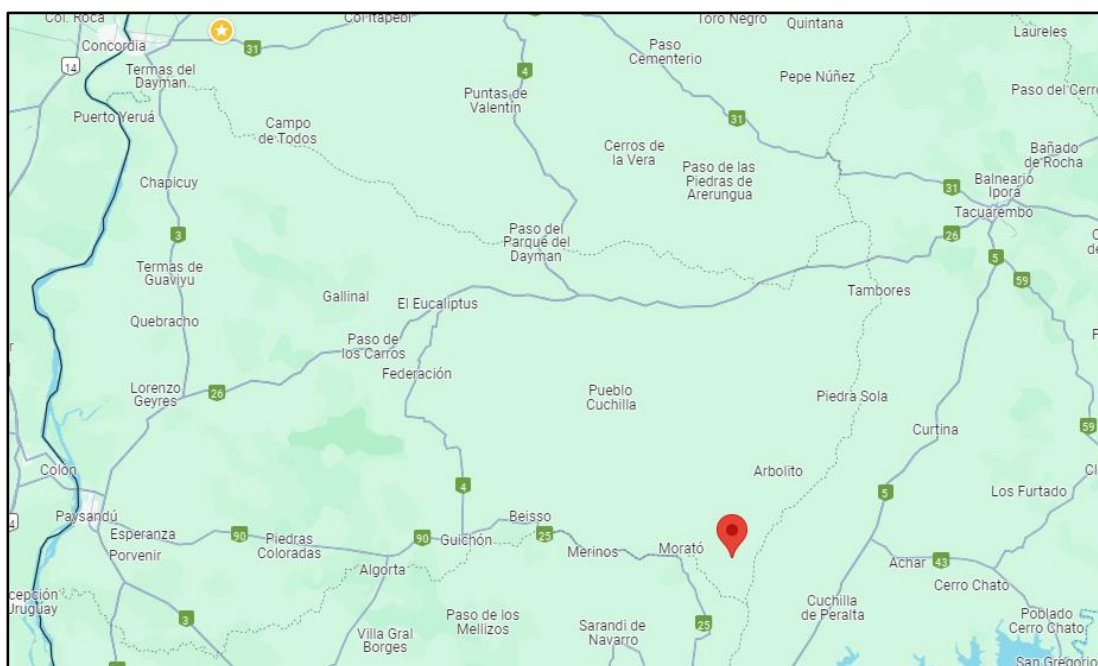
4.1 PARÁMETROS EXPERIMENTALES GENERALES

4.1.1 Localización del experimento

El experimento se realizó en la Localidad de Morató, departamento de Paysandú. Ubicado a 157 Km de la ciudad de Paysandú y a 140 Km de la ciudad de Tacuarembó, muy cercano al límite entre los departamentos de Tacuarembó y Río Negro. Las coordenadas geográficas del punto donde se encuentra la casa principal del establecimiento son Latitud: -32.395355 y Longitud: -56.586304.

Figura 2

Ubicación del establecimiento, lugar experimental



Nota. Tomado de Google (2024).

4.1.2 Caracterización del sitio experimental

4.1.2.1 Suelos

Los suelos de este establecimiento están desarrollados sobre los sedimentos de basalto. Se corresponde con Campos de Basalto Superficial, Unidad Queguay Chico (Dirección General de Recursos Naturales [DGRN], 2024).

4.1.2.2 Composición del tapiz vegetal

El tapiz dominante del campo natural está constituido por especies calificadas de tiernas a ordinarias, destacándose las gramíneas de ciclo estival (*Paspalum notatum*, *Axonopus* spp., *Andropogon Ternatus*, *Paspalum plicatulum*, *Paspalum dilatatum*, *Panicum milioides*) y de ciclo invernal (*Piptochaetium stipoides*, *Stipa setigera*,

Piptochaetium montevidense, *Stipa charruana*). La producción de estos tapices presenta una marcada estacionalidad primavero-estival, acumulando en este período aproximadamente el 64% de la producción total anual (Millot et al., 1987).

4.1.3 Descripción del experimento

4.1.3.1 Animales

Para la realización de este experimento se trabajó con 43 terneros de 1 año, de edad nacidos en la primavera de 2022. Estos son propiedad del establecimiento. 15 de los mismos son raza Tulianguy, 5 Aberdeen Angus, 4 Hereford, 10 Brangus, 9 Braford. Durante la etapa de experimento, los animales se encontraban sobre un potrero de campo natural, con agua, forraje y sombra a disposición, y al momento de tomar las medidas los mismos eran encerrados durante la mañana en los corrales con disponibilidad de agua y sombra, con el fin de tomar las medidas al mediodía cercano a la 1 pm.

El cuadro a continuación presenta los colores según raza en la frente y en el flanco de los animales utilizados en el experimento.

Tabla 1

Color en frente, flanco y cantidad de animales por raza utilizados en el experimento

Raza	Cantidad de animales	Color en la frente	Cantidad de animales	Color en el flanco
Aberdeen Angus	5	Negro	5	Negro
Braford	8	Blanco	8	Marrón
	1	Marrón	1	Marrón claro
Brangus	7	Marrón brillante	3	Marrón
	2	Marrón	1	Marrón claro
			1	Marrón oscuro brillante
			2	Marrón oscuro
		2	Marrón tostado brillante	
Hereford	4	Blanco	4	Marrón
Tulianguy	4	Marrón	2	Marrón
	5	Marrón claro	6	Marrón claro
	4	Marrón brillante	1	Marrón oscuro brillante
	2	Blanco	4	Marrón tostado brillante
		2	Blanco	

4.1.3.2 Variables

Se registraron los pesos, temperatura rectal, temperatura en la frente, temperatura en flanco y frecuencia respiratoria en tres ocasiones durante el verano 2023-2024. Las mediciones fisiológicas y productivas fueron realizadas los días 28/12/23, 23/01/24 y 07/02/24. Y además se realizó un registro de peso el 03/04/24.

Para estimar el peso de los animales, se utilizó una balanza electrónica propiedad del establecimiento. Para medir temperatura de frente y flanco se utilizó un termómetro infrarrojo, mientras que para medir temperatura rectal se utilizó un termómetro de mercurio, colocado en el recto durante un minuto. La frecuencia respiratoria se midió visualmente observando los movimientos en el flanco del animal por un minuto (rpm).

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL AMBIENTE METEOROLÓGICO

Se utilizaron datos de la estación meteorológica que presenta el predio (con registro horario), de temperatura media (°C), y humedad relativa del aire (HR%), los datos fueron tomados al momento de realizar la medición de cada fecha (13:00 hs.)

Tabla 2

Factores ambientales: Temperatura media, humedad e ITH en fechas de medición sobre los animales

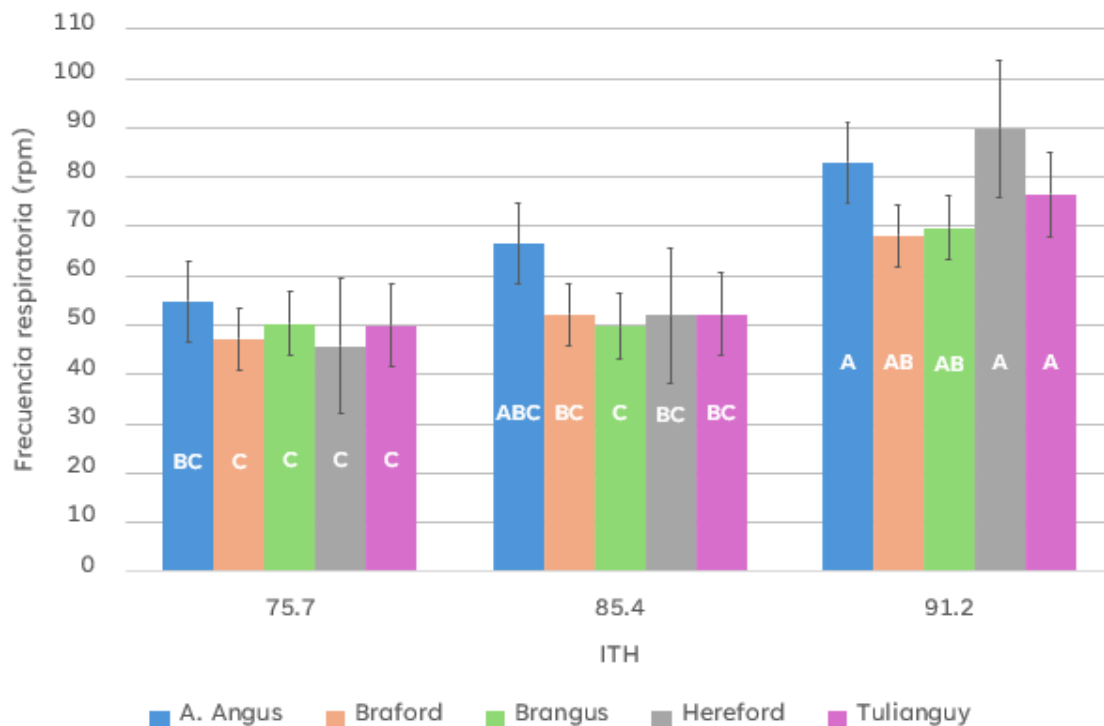
Fecha	Temperatura (°C)	Humedad %	ITH
28/12/2023	36,8	42	85,4
23/01/2024	28	50	75,7
07/02/24	42	40	91,2

5. RESULTADOS

Se analizaron las comparaciones de medias de mínimos cuadrados para la variable frecuencia respiratoria según raza e ITH, representado en la figura No.3.

Figura 3

Comparación de medias para la variable frecuencia respiratoria según raza e ITH



Nota. Medias de igual letra no presentan diferencias estadísticas significativas ($p=0.05$) tanto horizontal como verticalmente.

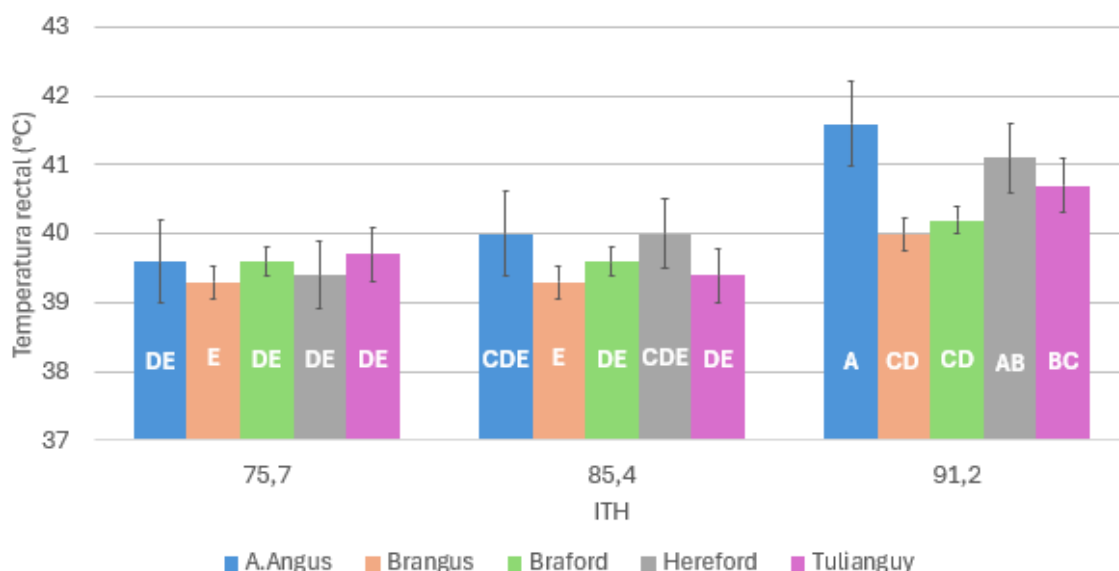
Ante la comparación de frecuencias respiratorias (r.p.m.) observadas a diferentes valores de ITH (figura No. 3), los animales Aberdeen Angus y Braford de este experimento no presentan diferencias significativas frente a un ITH de 91 respecto a uno de 85, mientras que animales Hereford, Brangus y Tulianguy sí presentan diferencias significativas ($p=0.05$) entre los valores de ITH mencionados anteriormente, dándose una menor frecuencia respiratoria con el menor valor de ITH. También se puede ver que ninguna de las razas presentó diferencias significativas ($p=0.05$) para la variable, frente a valores de ITH de 84 y 75, pero sí hubo diferencias significativas ($p=0.05$) con valores de ITH de 91 y 75, presentando todas las razas menor frecuencia respiratoria con el menor valor de ITH. Por otra parte, si se compara entre las medias de los valores de los animales de las diferentes razas no hay diferencias significativas ($p=0.05$) para la variable, a iguales valores de ITH.

Con el objetivo de estudiar la variable temperatura en frente según raza animal e ITH, seguidamente se presenta el análisis de la figura No.4 sobre la comparación de medias de mínimos cuadrados para la variable temperatura rectal según raza e ITH.

En la figura No.4 se presenta la comparación de medias de mínimos cuadrados para la variable temperatura rectal según raza e ITH.

Figura 4

Comparación de medias para la variable temperatura rectal (°C) según raza e ITH



Nota. Medias de igual letra no presentan diferencias estadísticas significativas ($p=0.05$) tanto horizontal como verticalmente.

Observando los valores de la variable ITH de 91 y 85 en la figura No. 4, la única raza que no presentó diferencias significativas fue Braford, teniendo las demás razas valores mayores de temperatura rectal con ITH de 91 respecto a 85. Ninguna de las razas presentó diferencias significativas frente a valores de ITH de 85 y 75.

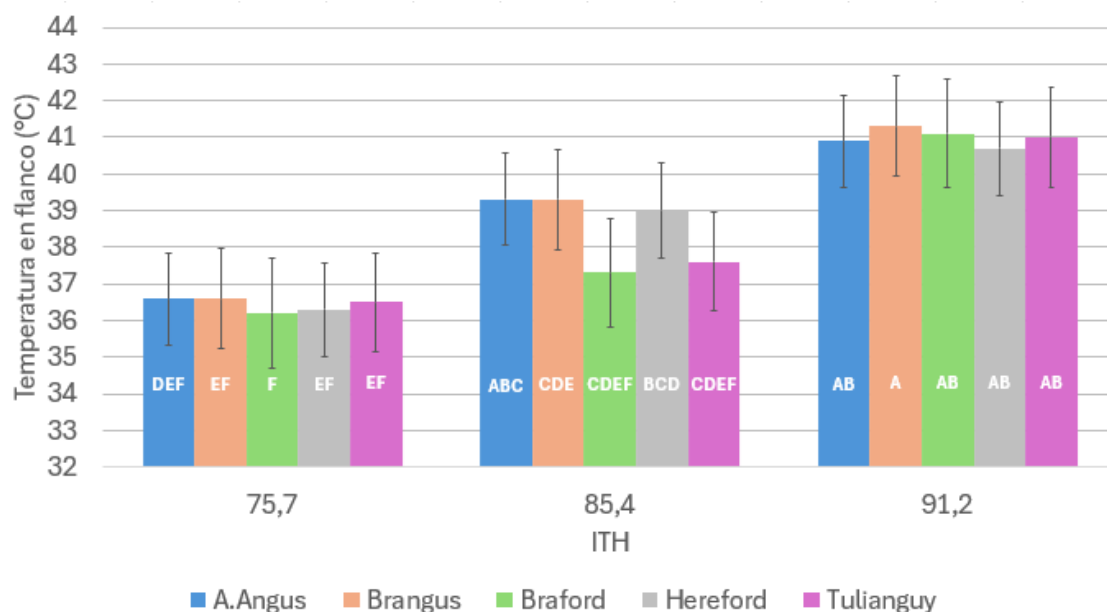
Por otra parte, Braford también fue la única raza que no presentó diferencias significativas entre el mayor valor de ITH y el menor, mientras que las demás razas tuvieron significativamente mayores valores de temperatura rectal con valores de ITH de 91 respecto a 75.

Sin embargo, observando iguales valores de ITH, se encontraron diferencias significativas para la variable entre las razas, observando que a un ITH de 91 A. Angus tuvo una temperatura rectal significativamente mayor respecto a Brangus, Braford y Tulianguy. Y Hereford tuvo una temperatura rectal significativamente mayor respecto a las razas Braford y Brangus. Mientras que a valores de ITH de 85 y 75 no se registraron diferencias significativas entre las razas para la variable en estudio.

La siguiente grafica ilustra la comparación de medias de mínimos cuadrados según raza e ITH para la variable temperatura en flanco (°C).

Figura 5

Comparación de medias para la variable temperatura en flanco (°C) según raza e ITH



Nota. Medias de igual letra no presentan diferencias estadísticas significativas ($p=0.05$) tanto horizontal como verticalmente.

Al analizar la figura No.5 se observa que al comparar días con diferentes valores de ITH y las diferentes razas bovinas, se puede ver que las razas Brangus, Braford y Tulianguy presentaron diferencias significativas ($p=0.05$) para temperatura en flanco, frente a valores de ITH de 91 y 85 respecto a las demás razas.

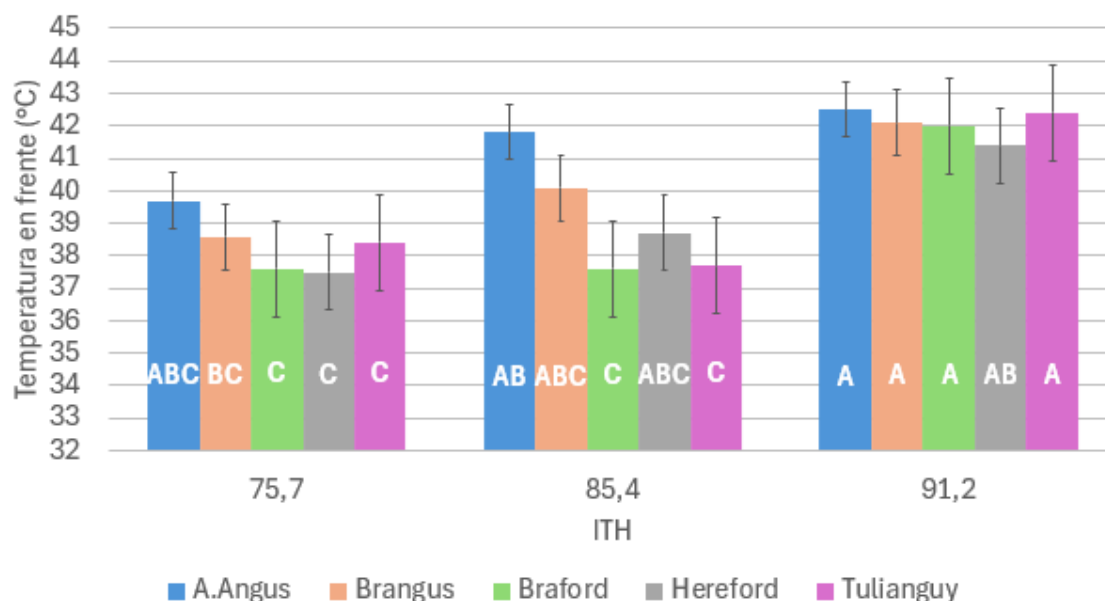
Si la comparación se hace entre valores de ITH de 85 y 75, las razas que presentan diferencias significativas para la variable son Aberdeen Angus y Hereford, mientras que en las demás razas no varía significativamente los valores de temperatura en flanco para los valores de ITH mencionados anteriormente. Sin embargo, todas las razas presentaron diferencias significativas para la variable en cuestión ante valores de ITH de 91 y 75.

Por otra parte, si se observan los valores de la variable ante iguales valores de ITH en las diferentes razas bovinas, no se reportaron diferencias significativas.

A continuación, en la figura No.6 se analiza la comparación de medias de mínimos cuadrados para la variable temperatura en frente del animal según raza e ITH.

Figura 6

Comparación de medias para la variable temperatura (°C) en la frente según raza e ITH



Nota. Medias de igual letra no presentan diferencias estadísticas significativas tanto horizontal como verticalmente.

En primera instancia, al analizar la figura No.6, se puede observar que al comparar el desempeño por raza, A. Angus, Brangus y Hereford no presentan diferencias significativas para la variable si son expuestas a valores de ITH de 91 y 85, mientras que las razas Tulianguy y Braford sí, dándose una temperatura en frente más alta con el mayor valor de ITH. Sin embargo, ninguna de las razas presentó diferencias significativas para temperatura en frente ante valores de ITH de 85 y 75.

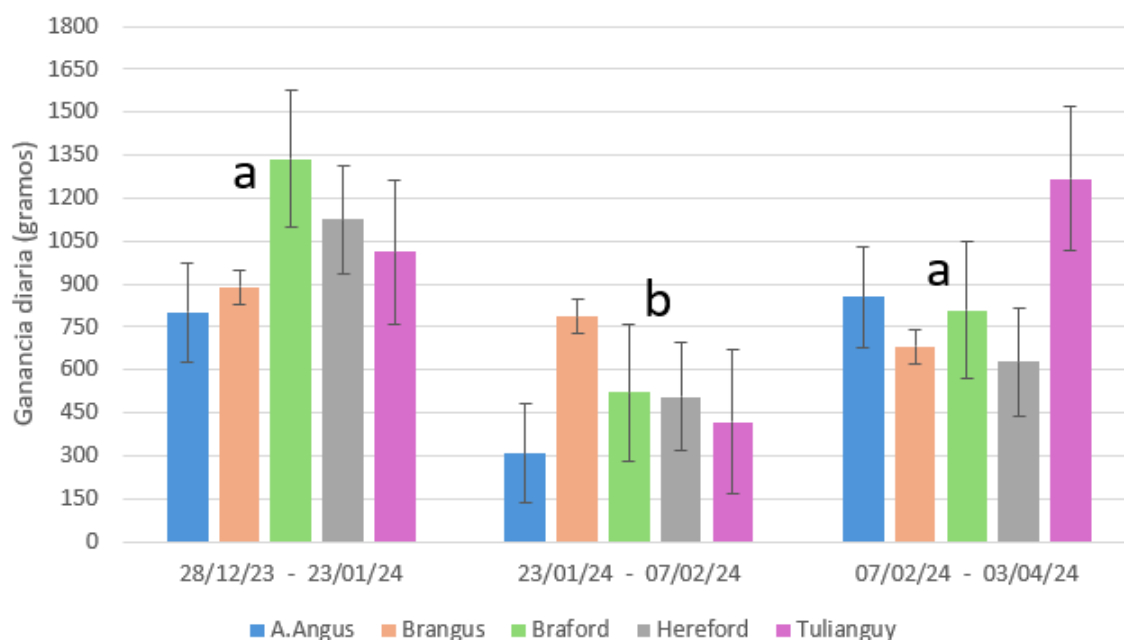
También se puede ver que la única raza que no presentó diferencias significativas para la variable ante valores de ITH de 91 y 75 es A. Angus, mientras que las demás razas sí, presentaron valores significativos de temperatura en frente mayor cuando se dio un ITH de 91.

Si se realiza una comparación a iguales valores de ITH, solamente se encontraron diferencias significativas ante valores de ITH 85, siendo la temperatura en flanco de A. Angus significativamente mayor respecto a Braford y Tulianguy.

En la siguiente grafica (figura N° 7), se presenta la comparación de medias de mínimos cuadrados según raza y fecha para la variable ganancia de peso vivo.

Figura 7

Comparación de medias para la variable variación del peso vivo según raza e ITH



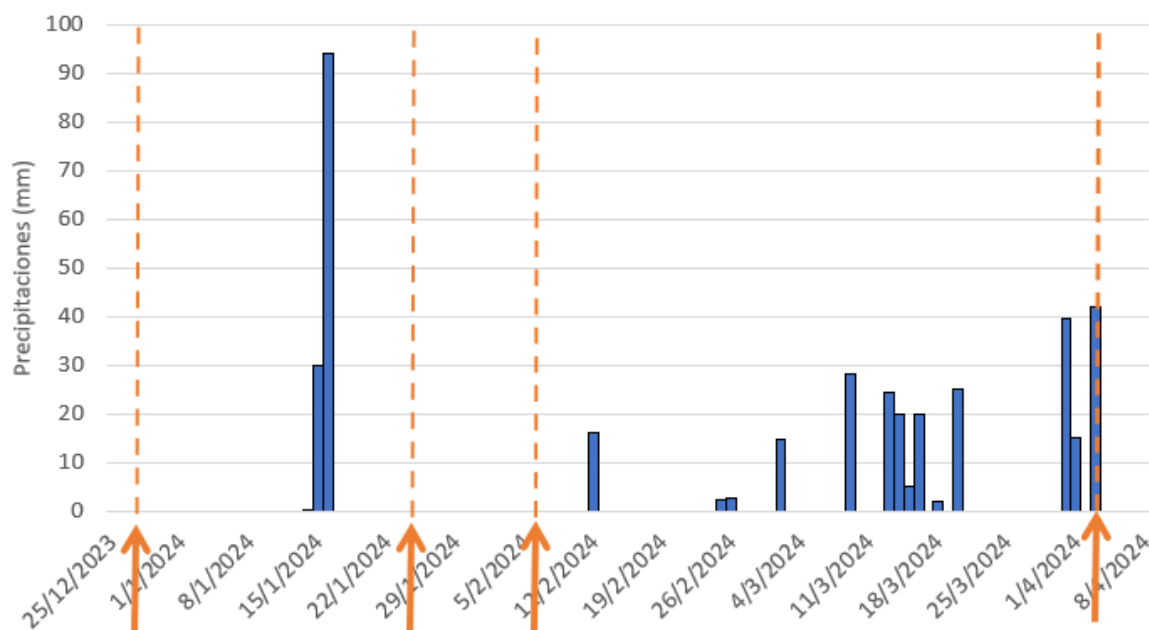
Nota. Medias de igual letra no presentan diferencias estadísticas significativas ($p=0.05$) tanto horizontal como verticalmente.

Analizando la figura No.7, se puede ver que todas las razas aumentaron su peso a pesar de la variación en los valores de ITH. Por otra parte, también se puede observar que no se dieron diferencias significativas ($p=0.05$) para ganancia de peso vivo entre las diferentes razas dentro de un mismo periodo, si bien durante el tercer periodo la raza Tulianguy presentó ganancias de peso vivo mayor a 400 gramos/día aproximadamente respecto a las otras razas, estadísticamente las diferencias no fueron significativas.

Sin embargo, si se dieron diferencias significativas entre periodos, en donde todas las razas presentaron ganancias de peso vivo significativamente ($p=0.05$) menor en el período correspondiente entre el 23 de enero y el 7 de febrero, respecto a los otros dos periodos.

Con el fin de encontrar la posible causa de menores ganancias de peso vivo durante el segundo periodo de experimento, la siguiente grafica presenta las precipitaciones (mm) en INIA Tacuarembó (ubicada a aproximadamente 62 km en línea recta del sitio donde se realizaron las mediciones) durante el período experimental.

Figura 8.
Precipitaciones (mm) durante el periodo experimental



Nota. Elaborado con base en INIA (2024).

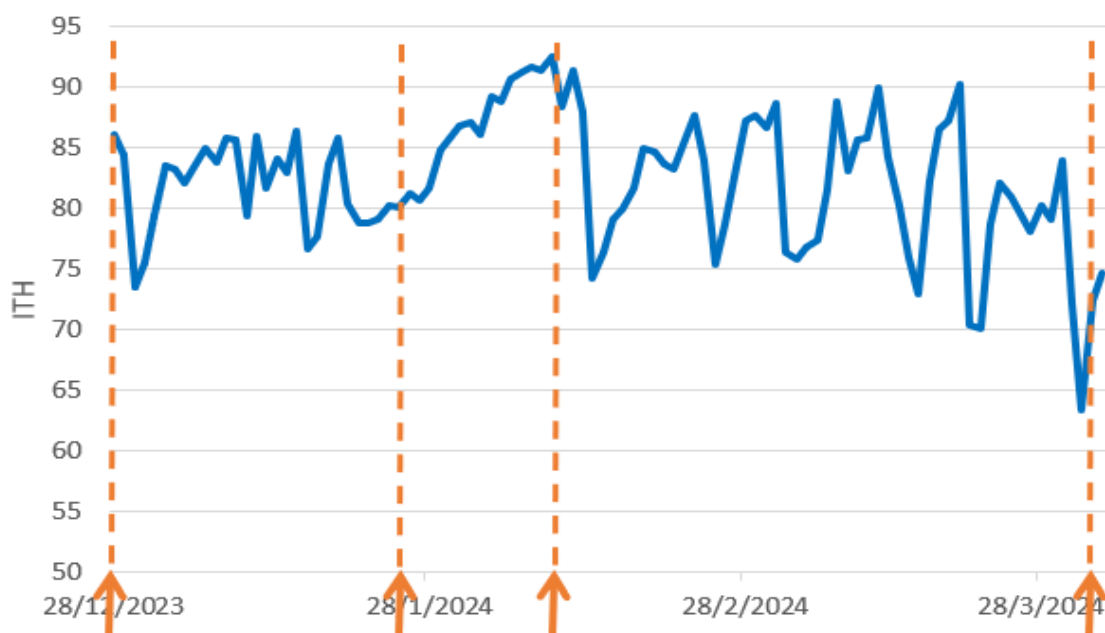
El primer período comprende desde la primera flecha a la segunda, el segundo período comprende desde la segunda flecha a la tercera, y el tercer período abarca desde la tercera flecha a la cuarta.

Se puede ver que, si bien, durante el segundo período no ocurrieron precipitaciones, durante el primer período si, las cuales pudieron favorecer el crecimiento y la disponibilidad de forraje en el segundo período en donde las ganancias de peso vivo fueron significativamente ($p=0.05$) menores.

La siguiente grafica indica la evolución del ITH durante el periodo experimental. Los datos de temperatura del aire y humedad relativa para calcular el ITH fueron tomados de INIA Tacuarembó.

Figura 9

Evolución del índice de temperatura y humedad (ITH) durante el periodo experimental



Nota. Elaborado con base en INIA (2024).

En la gráfica se puede observar la evolución del índice de temperatura y humedad (ITH) durante el período experimental.

El primer período comprende desde la primera flecha hasta la segunda, el segundo período comprende desde la segunda flecha hasta la tercera, mientras que el tercer período comprende desde la tercera flecha hasta la cuarta.

Se puede ver que, durante el segundo período del experimento, los valores de ITH fueron más constantes y en algunos días alcanzaron valores más altos en comparación a los otros dos períodos de experimento.

6. DISCUSIÓN

Se cumple con lo mencionado por Ferreira et al. (2006), Leva et al. (2005) y Hahn (1997), tanto la frecuencia respiratoria como la temperatura rectal se vieron afectadas por el aumento en la temperatura del aire. Esto está evidenciado porque se observa que al aumentar los valores de ITH, la frecuencia respiratoria y temperatura rectal se incrementaron significativamente.

En base a las categorías de índice de temperatura y humedad mencionadas por Livestock Conservation Institute (como se cita en Nienaber & Hahn, 2007), los valores de ITH relevados durante el trabajo indican que; en la primera fecha con valor de ITH de 75,7 se encuentra dentro de la categoría “Alerta”, mientras que los ITH recabados en las otras dos fechas con valores de 85,4 y 91,2 estarían categorizados como “Emergencia”. Por lo tanto, es una clara evidencia de que los animales durante estos días sufrieron estrés calórico.

Nienaber y Hahn (2007) estimaron equivalencias entre la frecuencia respiratoria y las diferentes categorías de ITH a través de relaciones funcionales. Valores de frecuencia respiratoria <90, 90-110, 110-130 y >130 respiraciones por minuto (rpm) para la categoría normal, alerta, peligro, y emergencia, respectivamente. En los resultados del presente trabajo casi todos los biotipos tendrían una frecuencia respiratoria promedio menor a 90 rpm entrando en la categoría de una frecuencia respiratoria “Normal” respecto a lo mencionado por los autores citados, excepto la raza Hereford que presentó en la situación con ITH de 92,1 una frecuencia respiratoria promedio de 90 rpm, entrando en la categoría de “Alerta”.

El trabajo realizado por Foster et al. (2009) muestra que hay diferencias entre biotipos frente al estrés por calor respondiendo de manera diferente y observándose esto en las mediciones de temperatura rectal y frecuencia respiratoria. Se complementa con las investigaciones llevadas a cabo por Bonsma (1985) quien observó diferencias de una mayor frecuencia respiratoria de bovinos británicos puros en comparación a la cruce Afrikaner-Británico frente a elevadas temperaturas ambientales. Comparando lo mencionado por estos autores con el presente trabajo, si bien hubo tendencia de las razas británicas a aumentar su frecuencia respiratoria frente al estrés térmico, las diferencias no fueron significativas. Por lo tanto, no se puede confirmar que los resultados obtenidos hayan sido acordes a lo mencionado por la bibliografía consultada.

Para el caso de temperatura rectal, si bien a ITH de 75,7 e ITH de 85,4 no se observaron diferencias significativas entre los diferentes biotipos, sí se observó a un ITH de 92,1 lo mencionado por Finch (1986), quien encontró diferentes respuestas al estrés

calórico según biotipos, presentando mayor sensibilidad los *Bos taurus* respecto a los *Bos indicus*. Para Dowling (1955) esto se debe a que los *Bos indicus* logran mantener la temperatura rectal más constante por una mayor densidad de glándulas sudoríparas, además, Finch et al. (1982) menciona como consecuencia de esto haber un mayor volumen de sudoración. En los resultados correspondientes a este trabajo, a un ITH de 92,1 la raza Aberdeen Angus (*Bos taurus*) presentó valores de temperatura rectal significativamente mayor respecto a razas con cruza indicas como lo son Braford y Brangus e incluso a la raza Tulianguy, lo mismo ocurrió con Hereford (*Bos taurus*) mostró diferencias significativas presentando valores de temperatura rectal al mismo valor de ITH mencionado anteriormente respecto a las razas Brangus y Braford, coincidiendo con los resultados obtenidos por los autores citados anteriormente.

Olson et al. (2002) siendo quienes registraron en Florida EEUU, la temperatura superficial en vacas cruza Holstein-Senepol en ambiente de ITH > 73, destacaron que las diferencias encontradas son debidas al tipo de pelo. Tienen menores temperaturas corporales superficiales los bovinos que presentan pelos cortos, lisos y brillosos (slick hair) respecto a los animales de pelaje normal. También Khalifa (2003) menciona que se puede dar una adaptación de los animales como; pelaje, tipo de pelaje, largo de pelaje, densidad de pelaje y color de piel como resultado de la evolución según la temperatura predominante en su zona agroecológica. En el presente trabajo gran parte de los resultados obtenidos respecto a temperatura de frente y temperatura de flanco no mostraron diferencias significativas entre razas que deberían tener una adaptación de pelaje favorable a reducir la temperatura en estas zonas corporales del animal según su evolución en ambientes adversos. Sin embargo, en los resultados obtenidos, para el caso específico con valores de ITH 85,4 en la medición de temperatura de frente, se observó diferencias significativas de una mayor temperatura en frente de la raza Aberdeen Angus respecto a Braford y Tulianguy, lo que puede explicarse a partir de lo señalado por los autores mencionados anteriormente.

En el trabajo realizado por Batista (2016), en el cual se evaluaron las razas Hereford pura y la cruce Bonsmara-Hereford, no hubo diferencias significativas en temperatura de frente y flanco comparando ambos genotipos. Esto pone en duda si realmente las mediciones de temperatura en la frente y en el flanco del animal reflejan de manera clara la respuesta del animal al estrés térmico.

En cuanto al peso vivo, si bien no hay evidencias para comprobar lo mencionado por Brown-Brandl et al. (2006) quienes indicaron que los animales modifican su comportamiento habitual, reduciendo el tiempo de pastoreo, que según (Mader et al., 1997) repercute directamente en la ganancia de peso vivo, todos los biotipos

aumentaron su peso vivo a pesar de los altos valores de ITH, con la incógnita si el resultado en la ganancia de peso hubiera sido mayor si no se daban estas condiciones ambientales desfavorables para el desempeño animal. También se pudo ver que no hubo diferencias significativas en cuanto a ganancia de pesos vivo entre los diferentes biotipos en estudio, más allá que la raza Tulianguy presento ganancias diarias de peso vivo mayor a los otros biotipos durante el tercer periodo, el hecho que no se dieran diferencias estadísticas significativas ($p=0.05$) puede deberse a los desvíos de la media como se puede observar en la gráfica (figura 7).

Por otra parte, si se dieron diferencias significativas ($p=0.05$) en ganancias de peso vivo entre periodos, lo que puede ser explicado por los valores de ITH más constantes y en algunos días más altos durante el segundo periodo en comparación al primer periodo, pudiendo ser la posible causa de ganancias de peso vivo significativamente ($p=0.05$) más bajas en todos los biotipos, en comparación a los otros dos periodos de experimento.

7. CONCLUSIÓN

Se concluye que a mayores valores de ITH se incrementa significativamente la frecuencia respiratoria, temperatura rectal, temperatura de flanco y temperatura de frente en los genotipos evaluados, siendo estos mayores en Aberdeen Angus, Hereford, Tulianguy, Braford y menores en Brangus.

Tulianguy a pesar de tener en su componente racial la raza Tuli adaptada a condiciones extremas de altas temperaturas, presenta un 50% de componente Angus lo que induce a una mayor sensibilidad de variables fisiológicas ante estrés térmico.

Entre los diferentes genotipos, si bien según la bibliografía consultada se esperaban diferencias significativas para las variables evaluadas, no se encontraron estas diferencias entre los diferentes biotipos a un mismo ITH para los casos de frecuencia respiratoria y temperatura de flanco. Pero sí hubo diferencias significativas entre algunos de los genotipos conforme se esperaba según la bibliografía consultada para los casos de temperatura rectal y temperatura de frente.

El trabajo muestra el desempeño frente al estrés térmico de la raza Tulianguy que aún se encuentra poco evaluada, mostrando la misma una tendencia a comportarse mejor frente al estrés térmico en comparación a las razas Británicas Aberdeen Angus y Hereford, presentando diferencias significativas de menor temperatura rectal y temperatura en frente respecto a la raza Aberdeen Angus con valores de 91.2 y 85.4 respectivamente.

Por último, no se dieron diferencias significativas en cuanto a ganancia de peso vivo entre las diferentes razas, pero si entre períodos. De igual manera, se observó que la raza Tulianguy presentó ganancias de peso vivo en torno a los 500 gramos superior a las demás razas en el tercer período, si bien estadísticamente las diferencias no son significativas, es considerable, pudiendo explicarse por los desvíos de las medias causando que las diferencias no sean significativas.

Las diferencias significativas en ganancia de peso vivo entre períodos de experimento, puede ser una posible causa de los valores de ITH más altos durante el segundo período respecto a al primer período de estudio en el experimento.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Haidary, A. A., Aljumaah, R. S., Alshaikh, M. A., Abdoun, K. A., Samara, E. M., & Okab, A. B. (2012). Thermoregulatory and physiological responses of Najdi sheep exposed to environmental heat load prevailing in Saudi Arabia. *Pakistan Veterinary Journal*, 32(4), 515-519.
- Angel, S. P., Amitha, J. P., Rashamol, V. P., Vandana, G. D., Savitha, S. T., Afsal, A., Bagath, M., Krishnan, G., & Sejian, V. (2018). Climate change and cattle production: Impact and adaptation. *Journal of Veterinary Medicine and Research*, 5(4), Artículo e1134. <https://doi.org/10.47739/2378-931X/1134>
- 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://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-732X2008000100002
- Asociación Braford Argentina. (2024). *Origen e historia*. <https://www.braford.org.ar/la-raza/>
- Asociación Portuguesa de Criadores de Ganado Limousine. (2024). *Características Limousine*. <https://www.limousineportugal.com/conteudo.php?idm=4>
- Batista, P. (2016). *Expresión de características de adaptación, crecimiento y comportamiento en la craza Bonsmara-Hereford en sistemas pastoriles del Uruguay* [Tesis de maestría]. Universidad de la República.
- Beatty, A., Barnes, D., Pethick, E. T., & Dunshea, F. (2004). *Bos indicus* cattle can maintain feed intake and fat reserves in response to heat stress better than *Bos taurus* cattle. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 13(Suppl. 1), 619-622.
- Beede, D. K., & Collier, R. J. (1986). Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *Journal of Animal Science*, 62(2), 543-554.
- Berman, A. (2011). Invited review: Are adaptations present to support dairy cattle productivity in warm climates? *Journal of Dairy Science*, 94(5), 2147-2158.
- Bhat, M. A., Ahsan, H., & Husain, S. (2017). Climate change and its impact on food quality. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 5(3), 709-725.
- Bianca, W. (1965). Cattle in a hot environment: Reviews of the progress of dairy science. *Journal of Dairy Research*, 32(1), 291-338.
- Bonsma, J. (1985). *Jan Bonsma and the Bonsmara beef cattle breed*. Alpha Bonsmara Group. https://www.alpha-bonsmara.co.bw/pdf/Jan-Bonsma_and-the-Bonsmara%20Beef-Cattle-Breed.pdf
- Brown-Brandl, T. M. (2018). Understanding heat stress in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47(1), Artículo e20160414. <https://doi.org/10.1590/rbz4720160414>
- Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R., & Nienaber, J. (2006). Heat stress risk factors of feedlot heifers. *Livestock Science*, 105(1-3), 57-68

- Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., Nienaber, J. A., & Hahn, G. L. (2005). Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle: Part 1. Analyses of indicators. *Biosystems Engineering*, 90(4), 451-462.
- Brown-Brandl, T. M., Nienaber, J. A., Eigenberg, R. A., Hahn, G. L., & Freetly, H. (2003). Thermoregulatory responses of feeder cattle. *Journal of Thermal Biology*, 28(2), 149-157.
- Carabaño, M. J. (2015). El desafío de la selección genética de animales tolerantes al estrés por calor: El caso del ganado bovino lechero. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), 69-73.
- Carvajal, A. M., & Martínez, M. E. (2021). *La genética ganadera en la Patagonia Verde*. INIA. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/2bb0b7f4-e832-44f7-846a-cbd686dc5535/content>
- Carvalho, F. A., Lammoglia, M. A., Simoes, M. J., & Randel, R. D. (1995). Breed affects thermoregulation and epithelial morphology in imported and native cattle subjected to heat stress. *Journal of Animal Science*, 73(12), 3570-3573.
- Chacón Cruz, G. (2019). *Descripción y usos de la Red de Agrometeorología INIA*. INIA. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/67572>
- Collier, R. J., Collier, J. L., Rhoads, R. P., & Baumgard, L. H. (2008). Invited review: Genes involved in the bovine heat stress response. *Journal of Dairy Science*, 91(2), 445-454.
- Cruz, G., & Saravia, C. (2008). Un índice de temperatura y humedad del aire para regionalizar la producción lechera en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 12(1), 56-60.
- Dikmen, S., Cole, J. B., Null, D. J., & Hansen, P. J. (2012). Heritability of rectal temperature and genetic correlations with production and reproduction traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95(6), 3401-3405.
- Dirección General de Recursos Naturales. (2024). *Coneat, carta de suelos y cartografía de campo natural*. MGAP. <https://dgrn.mgap.gub.uy/js/visores/dgrn/>
- Dowling, D. F. (1955). The hair follicle and apocrine gland populations of Zebu (*Bos indicus* L.) and Shorthorn (*B. taurus* L.) cattle skin. *Australian Journal of Agricultural Research*, 6(4), 645-654.
- El-Tarabany, M. S., El-Tarabany, A. A., & Atta, M. A. (2017). Physiological and lactation responses of Egyptian dairy Baladi goats to natural thermal stress under subtropical environmental conditions. *International Journal of Biometeorology*, 61(1), 61-68.
- Estrada, M. (2018). *Origen, descripción, importancia zootécnica y características funcionales de la raza de bovino de carne Tuli* [Trabajo final de grado]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

- Fernández, E., Mousques, R., & Scaldaferro, J. (2022). *Impacto de estrés calórico sobre el crecimiento y comportamiento en pastoreo sobre campo natural de vaquillonas hereford con y sin acceso a sombra* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/42204>
- Ferreira, F., Campos, W. E., Carvalho, A. U., Pires, M. F., Martínez, M. L., Silva, M. V., Verneque, R. S., & Silva, P. F. (2009). Taxa de sudação e parâmetros histológicos de bovinos submetidos ao estresse calórico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 61(4), 763-768.
- Ferreira, F., Pires, M. F., Martinez, M. L., Coelho, S. G., Carvalho, A. U., Ferreira, P. M., Facury-Filho, E. J., & Campos, W. E. (2006). Physiologic parameters of crossbred cattle subjected to heat stress. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 58(5), 763-768.
- Finch, V. A. (1986). Body temperature in cattle: Its control and relevance to production in the tropics. *Journal of Animal Science*, 62(2), 531-542.
- Finch, V. A., Bennett, I. L., & Holmes, C. R. (1982). Sweating response in cattle and its relation to rectal temperature, tolerance of sun and metabolic rate. *Journal of Agricultural Science*, 99(3), 479-487.
- Findlay, J. D., & Yang, S. H. (1950). The sweat glands of Ayrshire cattle. *Journal of Agricultural Science*, 40(1), 126-133.
- Foster, L., Fourie, P., & Naser, F. (2009). Effect of heat stress on six beef breeds in the Zastron district: The significance of breed, coat colour and coat type. *South African Journal of Animal Science*, 39(10), 224-228.
- Gallardo, M., & Valtorta, S. (2011). *Producción y bienestar animal: Estrés por calor en ganado lechero: Impactos y mitigación*. Hemisferio Sur.
- García Pintos, M. (2020, 24 de enero). Lo que hay que saber para conocer a vacunos Tulianguy y por qué se llaman así. *El Observador*.
<https://www.elobservador.com.uy/nota/lo-que-hay-que-saber-para-conocer-a-vacunos-tulianguy-y-porque-se-llaman-asi-202012218200>
- Gasque Gómez, R. (2008). *Enciclopedia bovina*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://es.slideshare.net/slideshow/enciclopedia-bovina-mvz-ramn-gasque-gomez/15660847>
- Gaughan, J. B., Mader, T. L., Holt, S. M., & Lisle, A. (2008). A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 86(1), 226-234.
- Gebremedhin, K. G. (2012). Impact of the hot environment on nutrient requirements. En J. Collier & J. L. Collier (Eds.), *Environment physiology of livestock* (pp. 35-48). Tuscia University.
- Geremia, E. V. (2016). *Estrutura do dossel forrageiro e comportamento ingestivo de novilhas em Brachiaria brizantha cv. Piatã sob regimes de sombra em área de integração lavoura-pecuária-floresta* [Disertación doctoral]. Universidade de São Paulo.

- Google. (2024). [Morató, Paysandú, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 7 de febrero de 2024, de https://www.google.com/maps/place/32%C2%B023'43.3%22S+56%C2%B035'10.7%22W/@-32.3953552,-56.5888786,17z/data=!3m1!4b1!4m4!3m3!8m2!3d-32.3953552!4d-56.5863037?hl=es&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTAyNy4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
- Hafez, E. S. (1972). Principios de la adaptación animal. En E. S. Hafez (Ed.), *Adaptación de los animales domésticos* (pp. 14-35). Herrero.
- Hahn, G. L. (1997). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science*, 77(2), 10-20.
- Hammond, A., Chase, C., Bowers, E., Olson, T., & Randel, R. (1998). Heat tolerance in Tuli, Senepol, and Brahman-Sired F1 Angus Heifers in Florida. *Journal of Animal Science*, 76(1), 1568-1577.
- Hammond, A., Olson, T. A., Chase, C. C., Bowers, E. J., Randel, R. D., Murphy, C. N., Vogt, D. W., & Tewolde, A. (1996). Heat tolerance in two tropically adapted *Bos taurus* breeds, Senepol and Romosinuano, compared with Brahman, Angus, and Hereford cattle in Florida. *Journal of Animal Science*, 74(1), 295-303.
- Hansen, P. J. (2004). Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Animal Reproduction Science*, 82-83(1), 349-360.
- Huertas, S. M., Bobadilla, P. E., César, D., Piaggio, J. M., & Gil, A. D. (2020). *Evaluación de la sustentabilidad de los sistemas productivos silvopastoriles y sistemas forestales existentes en el país y su relación con la producción de bovinos de carne*. INIA.
- INIA Uruguay. (2018). *Jornada de Ganadería Intensiva: Preguntas manejo del estrés térmico* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=gqQLiATYDEs>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2024). *Banco de Datos Agroclimáticos*. <https://inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- International Union of Physiological Sciences. (2001). Glossary of terms for thermal physiology. *The Japanese Journal of Physiology*, 51(2), 245-250. <https://www.ghhin.org/assets/Glossary-of-terms-for-thermal-phys.pdf>
- Johnson, H. D. (1987). *Bioclimatology and the adaptation of livestock*. Elsevier.
- Johnson, H. D., Kibler, H. H., Ragsdale, A. C., Berry, I. L., & Shanklin, M. D. (1961). Role of heat tolerance and production level in responses of lactating Holsteins to various temperature-humidity conditions. *Journal of Dairy Science*, 44(6), 1191-1200.
- Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., & Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livestock Production Science*, 77(1), 59-91.
- Khalifa, H. H. (2003). Bioclimatology and adaptation of farm animals in a changing climate. En N. Lacetera, U. Bernabucci, H. H. Khalifa, B. Ronchi, & A. Nardone (Eds.), *Interactions between climate and animal production* (pp.15-29). Brill; Wageningen Academic.

- Kibler, H. H. (1957). *Environmental physiology and shelter engineering, with special reference to domestic animals: XLIII Energy metabolism and cardiorespiratory activities in Shorthorn, Santa Gertrudis, and Brahman heifers during growth at 50 degree and 80 degree temperatures*. University of Missouri.
- La Manna, A., Román, L., Bravo, R., & Aguilar, I. (2014). Estrés térmico en vacas lecheras: Con sombra y bienestar las vacas producen más. *Revista INIA Uruguay*, (39), 34-39.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7093/1/revista-INIA-39-p.-34-39.pdf>
- Lagos, F. (2024). *Raza*. Sociedad de Criadores de Brangus del Uruguay.
<https://www.brangus.org.uy/raza>
- Leaños, L. (2008). *Influencia climática sobre la producción bovina* [Trabajo final de grado, Universidad de Sucre]. Universidad de Sucre Repositorio Digital.
<http://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/431>
- Leva, P. E., García, M. S., Veles, M. A., & Valtorta, S. E. (2005). Respuestas fisiológicas de vacas Holando argentino y cruce Jersey-Holando en la Cuenca Lechera Santafesina. *FAVE: Sección Ciencias Agrarias*, 4(1-2), 49-54.
<https://doi.org/10.14409/fa.v4i1/2.1313>
- Mader, T. L., Dahlquist, J. M., & Gaughan, J. B. (1997). Wind protection effects and airflow patterns in outside feedlots. *Journal of Animal Science*, 75(1), 26-36.
- Maibam, U., Hooda, O. M., Sharma, P. S., Singh, S. V., & Upadhyay, R. C. (2017). Seasonal change in oxidative stress markers in blood plasma of Tharparkar (*Bos indicus*) and Karan Fries (*Bos indicus* x *Bos taurus*) cattle under tropical climate. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(2), 1720-1730. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.192>
- Marai, I. F. M., El-Darawany, A. A., Fadiel, A., & Abdel-Hafez, M. A. M. (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep: A review. *Small Ruminant Research*, 71(1-3), 1-12.
- McDowell, R. E., Hooven, N. W., & Camoens, J. K. (1976). Effect of climate on performance of Holsteins in first lactation. *Journal of Dairy Science*, 59(5), 965-971.
- Miller, M. (2007). *Dark, firm and dry beef*. Beef Research.
<https://www.beefresearch.org/resources/product-quality/fact-sheets/dark-firm-and-dry-beef>
- Millot, J. C., Methol, R., & Risso, D. (1987). *Survey on natural grasslands and extensive improvements in farming areas in Uruguay*. FUCREA; CHPA.
- Morrell, J. M. (2020). Heat stress and bull fertility. *Theriogenology*, 153(1), 62-67
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., & Bernabucci, U. (2006). Climatic effects on productive traits in livestock. *Veterinary Research Communications*, 30(1), 75-81.

- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranireri, M., & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of 384 livestock systems. *Livestock Science*, 130(1-3), 57-69.
- Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(19), 113-122.
- Nienaber, J. A., & Hahn, G. L. (2004). Engineering and management practices to ameliorate livestock heat stress. En International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (Ed.), *Proceedings of the International Symposium of the CIGR: New trends in farm buildings* (pp. 1-18).
- Nienaber, J. A., & Hahn, L. (2007). Livestock production system management responses to thermal challenges. *International Journal of Biometeorology*, 52(2), 149-157.
- Nienaber, J. A., Hahn, G. L., Brown-Brandl, T. M., & Eingenberg, R. A. (2003). Heat stress climatic conditions and the physiological responses of cattle. En K. Janni (Eds.), *Fifth International Dairy Housing Proceeding of the Conference* (pp. 255-262). American Society of Association Executives.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2022). *Anuario estadístico agropecuario 2022*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-agropecuario-2022>
- Olson, T., Avila-Chytil, M., Chase, Jr. C., Hansen, P., & Coleman, S. (2002). *Impact of hair coat differences on rectal temperature, skin temperature, and respiration rate of Holstein x Senepol crosses in Florida* [Contribución]. Senepol Symposium, St. Croix, Virgin Islands, USA.
- Olson, T., Lucena, C. R., Chase, C. C., & Hammond, A. C. (2003). Evidence of a major gene influencing hair length and heat tolerance in *Bos taurus* cattle. *Journal of Animal Science*, 81(1), 80-90.
- Oosthuizen, T. (2024). *Aberdeen - Angus*. Cattle International Series. <https://cattleinternationalseries.weebly.com/aberdeen---angus.html>
- Panda, R., Ghorpade, P. P., Chopade, S. S., Kodape, A. H., Palampalle, H. Y., & Dagli, N. R. (2016). Effect of heat stress on behaviour and physiological parameters of Osmanabadi goats under katcha housing system in Mumbai. *Journal of Livestock Science*, 7(1), 196-199.
- Pocay, P. L., Pocay, V. G., Starling, J. M., & Silva, R. G. (2001). Respostas fisiológicas de vacas holandesas predominantemente brancas e predominantemente negras sob radiação solar direta. *Ars Veterinaria*, 17(2), 155-161.
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De Babilio, V., Gourdière, J. L., & Collier, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6(5), 707-728.

- Ribeiro, N. L., Ribeiro, M. N., Bozzi, R., & Costa, R. G. (2018). Physiological and biochemical blood variables of goats subjected to heat stress: A review. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 1036-1041.
<https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1456439>
- Roca, A. (2011). Efecto del estrés calórico en el bienestar animal: Una revisión en tiempo de cambio climático. *Espamciencia*, 2(1), 15-25.
- Roman-Ponce, H., Thatcher, W. W., Caton, D., Barron, D. H., & Wilcox, C. J. (1978). Thermal stress effects on uterine blood flow in dairy cows. *Journal of Animal Science*, 46(1), 175-180.
- Roth, Z. (2020). Reproductive physiology and endocrinology responses of cows exposed to environmental heat stress: Experiences from the past and lessons for the present. *Theriogenology*, 155(1), 150-156.
- Seath, D. M., & Miller, G. D. (1947). Heat tolerance comparisons between Jersey and Holstein cows. *Journal of Animal Science*, 6(1), 24-34.
- Sejian, V., Gaughan, J. B., Bhatta, R., & Naqvi, S. M. (2016). *Impact of climate change on livestock productivity*. Feedipedia.
<https://www.feedipedia.org/content/impact-climate-change-livestock-productivity>
- Silanikove, N., & Koluman, N. (2015). Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: Predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. *Small Ruminant Research*, 123(1), 27-34.
- Soares de Lima, J. M., & Montossi, F. (2014). Los sistemas de cría vacuna sobre el Basalto: Ante todo, sistema de producción de carne. En J. E. Beretta, E. Montossi, & G. Brito (Eds.), *Alternativas tecnológicas para los sistemas ganaderos del basalto* (pp. 199-207). INIA.
- Sonna, L. A., Fujita, J., Gaffin, S. L., & Lilly, C. M. (2002). Invited review: Effects of heat and cold stress on mammalian gene expression. *Journal of Applied Physiology*, 92(4), 1725-1742.
- Spiers, D. E. (2012). Physiological basics of temperature regulation in domestic animals. En J. Collier, & J. L. Collier (Eds.), *Environment physiology of livestock* (pp. 17-34). Wiley.
- Starr, J. R. (1988). *Weather, climate and animal performance*. World Meteorological Organization.
- Suárez, P. E., Reza, G. S., Díaz, A. E., García, C. F., Pastrana, V. I., Cuadrado, C. H., & Espinosa, C. M. (2012). Efectos de las condiciones ambientales sobre el comportamiento ingestivo en bovinos de carne en un sistema intensivo en el Valle del Sinú. *Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2), 207-212. https://doi.org/10.21930/rcta.vol13_num2_art:257
- Thom, E. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, 12(2), 57-61.

- Valente, É. E. L., Chizzotti, M. L., Oliveira, C. V. R., Galvão, M. C., Domingues, S. S., Rodrigues, A. de C., & Ladeira, M. M. (2015). Intake, physiological parameters and behavior of Angus and Nellore bulls subjected to heat stress. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(6), 4565-4574.
- Wheelock, J., Rhoads, R., VanBaale, M., Sanders, S., & Baumgard, L. (2010). Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 93(2), 644-655. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2295>
- Wickramasinghe, S., Cánovas, A., Rincón, G., & Medrano, J. F. (2014). RNA-sequencing: A tool to explore new frontiers in animal genetics. *Livestock Science*, 166, 206-216.
- Yousef, M. K. (1985). Stress physiology: Definition and terminology. En M. K. Yousef (Ed.), *Stress physiology in livestock: Vol I. Basic principles* (pp. 3-8). CRC Press