

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
Colegio de Ciencias Agropecuarias
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnoa
Doctorado en Ciencias Agropecuarias



TESIS:

**EFFECTO MEDIO AMBIENTAL EN EL CONFORT TÉRMICO, COMPORTAMIENTO
AGONISTA Y RESPUESTA CONDUCTUAL DIURNA DE BOVINOS
PRODUCTORES DE CARNE EN FINALIZACIÓN INTENSIVA**

**Que para obtener el Grado de
Doctora en Ciencias Agropecuarias**

PRESENTA:

Ana Citlaly Zazueta Gutiérrez

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón

CODIRECTOR:

Dr. Jesús David Urías Estrada

Culiacán Rosales, Sinaloa, México, a 5 de junio de 2023

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **ANA CITLALY ZAZUETA GUTIÉRREZ**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR



Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón

CODIRECTOR



Dr. Jesús David Urías Estrada

ASESORA



Dra. Beatriz Isabel Castro Pérez

ASESOR



Dr. Jesús José Portillo Loera

ASESOR



Dr. Alfredo Estrada Angulo

CULIACÁN ROSALES, SINALOA, MÉXICO. JUNIO DE 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 5 de junio del año 2023, la que suscribe Ana Citlaly Zazueta Gutiérrez, alumna del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 0601878-5, de la Unidad Académica Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón y del Dr. Jesús David Urias Estrada y que cede los derechos del trabajo titulado “Efecto medio ambiental en el confort térmico, comportamiento agonista y respuesta conductual diurna de bovinos productores de carne en finalización intensiva”, a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE

MC Ana Citlaly Zazueta Gutiérrez

DOMICILIO: Calle Río Deva #2133 Nte. Fracc. Altamira CP. 80027, Culiacán, Sinaloa

TELÉFONO: (667) 1995755

CORREO ELECTRÓNICO: ana_citlaly@hotmail.com

CURP: ZAGA880929MSLZTN06



Dirección General de Bibliotecas



U n i v e r s i d a d A u t ó n o m a d e S i n a l o a

REPOSITORIO INSTITUCIONAL

UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por por permitirme seguir en este camino donde encontré gente maravillosa y pude ver desde otra perspectiva lo que es la producción animal desde un punto de vista ético y con bienestar animal. A mi familia por siempre apoyarme en cada paso que doy, a mis amigos por motivarme a seguir adelante, y con mucho cariño a mi director de tesis Francisco Gerardo Ríos Rincón por siempre guiarme, al Doctor Jesús José Portillo Loera por su valiosa ayuda, al Dr. Alfredo Estrada, a la Dra. Beatriz Isabel Castro Pérez y al Dr. David Urias Estrada por siempre estar a mi lado en cada etapa.

Gracias a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por ser mi segundo hogar.

También agradezco a la empresa Agropecuaria JS S.A. de C.V. y a todo el personal que ahí labora, por permitirme realizar el estudio de investigación en sus instalaciones y hacerme sentir en confianza.

Agradecimiento a CONACYT por el apoyo económico beca para estudios de Posgrado.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	i
RESUMEN	ii
ABSTRACT	iv
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA	1
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
Etología y bienestar animal.....	4
Confort térmico del ganado bovino.....	5
Respuesta del ganado bovino al estrés por calor.....	7
Mecanismos de adaptación al ambiente climático.....	8
Mitigación del estrés por calor.....	10
Ciclos circadianos y la conducta.....	14
Efecto del ambiente físico en la conducta habitual del bovino.....	16
CONCLUSIONES	18
CAPÍTULO 2: ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DEL ESTRÉS POR CALOR EN BOVINOS PRODUCTORES DE CARNE EN FINALIZACIÓN INTENSIVA EN EL TRÓPICO SECO MEXICANO	19
ABSTRACT	19
INTRODUCTION	20
¿What is stress?.....	20
Physiological response to heat stress.....	21
Heat stress, an approach to beef production.....	21
Climatic conditions at Culiacán valley.....	23
Heat stress mitigation measures.....	24
Availability of shade in feedlots.....	25
Feeding space.....	26
Drinking trough space requirements.....	26
Feedlot density.....	26
CONCLUSIONS	27
REFERENCES	27

CAPÍTULO 3: VALORACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO DE BOVINOS PRODUCTORES DE CARNE EN FINALIZACIÓN INTENSIVA EN CLIMA CÁLIDO	31
RESUMEN.....	31
ABSTRACT.....	32
INTRODUCCIÓN.....	32
MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
CONCLUSIONES.....	45
LITERATURA CITADA.....	45
CAPÍTULO 4: EFECTO MEDIOAMBIENTAL Y DEL DISEÑO DE CORRAL EN COMPORTAMIENTO AGONISTA DE BOVINOS EN FINALIZACIÓN INTENSIVA	49
SUMMARY.....	49
RESUMEN.....	50
INTRODUCCIÓN.....	50
MATERIALES Y MÉTODOS.....	52
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
CONCLUSIONES.....	67
REFERENCIAS.....	68
CAPITULO 5. RESPUESTA CONDUCTUAL DIURNA DE BOVINOS PRODUCTORES DE CARNE EN FINALIZACIÓN INTENSIVA EN EL TRÓPICO SECO	73
RESUMEN.....	73
ABSTRACT.....	74
INTRODUCCIÓN.....	74
MATERIALES Y MÉTODOS.....	75
RESULTADOS.....	78
DISCUSIÓN.....	83
REFERENCIAS.....	87
CAPITULO 6: CONCLUSIONES GENERALES	91

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Representación esquemática de las condiciones ambientales críticas para la supervivencia animal.....	10
2	Balance térmico en el ganado bovino de carne.....	14

RESUMEN

Efecto medio ambiental en el confort térmico, comportamiento agonista y respuesta conductual diurna de bovinos productores de carne en finalización intensiva

MC. Ana Citlaly Zazueta Gutiérrez

Con el objetivo de valorar el efecto medio ambiental en el confort térmico, comportamiento agonista y respuesta conductual diurna de bovinos productores de carne en finalización intensiva se realizaron tres estudios durante el otoño e invierno en el trópico seco. A las 08:00, 12:00 y 16:00 h, se registró la temperatura ambiente, humedad relativa, mínima y máxima, con esto se calculó el índice de temperatura y humedad (ITH). En cuanto a confort térmico, en otoño, el ganado bovino se encontró en estado de Peligro a Emergencia Térmica ($ITH \geq 84$ unidades), y de Alerta Térmica ($ITH \geq 70$) durante el invierno. En ambas épocas, durante las etapas inicial y final de la engorda, la provisión de espacio vital y de la sombra fue insuficiente de acuerdo con los indicadores para bovinos productores de carne en confinamiento, independientemente del tipo de corral de finalización. Las condiciones ambientales registradas durante otoño e invierno, expresadas mediante el ITH, indican que el estado de bienestar de los bovinos en corrales de finalización intensiva se encuentra comprometido; a lo anterior se agregan las limitaciones en espacio vital y disponibilidad de sombra que en suma no proporcionan un buen ambiente térmico. En el comportamiento agonista, influyeron el ITH y hora del día en la expresión de la tasa de amenazas (34 vs. 14; $P < 0.05$) y topetazos (20 vs. 12; $P < 0.01$). A las 8:00 h, el valor de ITH fue inferior a 77 unidades, mientras que a las 12:00 y 16:00 h, superó las 82 unidades. En reacción de *Flehmen*, montas y vocalizaciones, influyeron hora y diseño del corral ($P < 0.02$). Durante el invierno, las montas ocurrieron cuando el ITH fue menor de 69 unidades ($P < 0.01$), y disminuyeron cuando el ITH incrementó a 74 unidades (18 vs. 10). En la presentación de la reacción de *Flehmen* influyó el tipo de corral ($P < 0.01$). Para la valoración de la conducta diurna, los bovinos se alojaron en corrales provistos de sombra de polipropileno (CCS) y en corrales sin sombra (CSS). A las 8:00 h todos los bovinos estuvieron sujetos a condiciones ambientales de confort

térmico ($P < 0.01$); pero a las 12:00 h los bovinos bajo sombra estuvieron en peligro térmico y a las 16:00 h en alerta térmica, y a las 12:00 y 16:00 h en los bovinos sin acceso a sombra persistió el peligro térmico ($P < 0.01$). El acceso al comedero se inhibió a las 8:00 y 12:00 h e incrementó a las 16:00 h, pero la rumia disminuyó a las 8:00 y 16:00 y aumentó a las 12:00 h ($P < 0.01$). Los indicadores de descanso son mayormente observados en peligro y alerta térmica ($P < 0.01$). Los indicadores agonistas se encuentran inhibidos a las 8:00 y 12:00 h ($P \leq 0.04$). La conducta social es mayormente manifiesta a las 16:00 h ($P < 0.001$).

Conclusión

Palabras clave: bovinos, conducta, ITH, corral de engorda, trópico seco

ABSTRACT

Environmental effect on thermal comfort, agonist, and diurnal behavioural response of intensively finished beef cattle.

ANA CITLALY ZAZUETA GUTIÉRREZ

To assess the environmental effect on thermal comfort, agonist behavior, and diurnal behavioural response of intensively finished beef cattle, three studies were conducted during autumn and winter in the dry tropics. At 08:00, 12:00 and 16:00 h, temperature, relative humidity, minimum and maximum humidity were recorded, thus, to calculate the temperature and humidity index (THI). Regarding thermal comfort during autumn, cattle were in a state of Thermal Emergency Danger (THI \geq 84 units), and Thermal Alert (THI \geq 70) during winter. In both seasons, during the initial and final stages of fattening, the provision of space and shade was insufficient according to indicators for beef cattle in confinement, regardless of the type of the pen. The environmental conditions recorded during autumn and winter, expressed by the THI, indicate that the welfare for bovines in intensive finishing pens is compromised; in addition to this, the limitations in space and shade availability don't provide a good thermal environment. About the agonist behavior, the time of the day and the THI influenced the expression of the rate of threats (34 vs. 14; $P < 0.05$) and bumps (20 vs. 12; $P < 0.01$). At 8:00, the THI value was less than 77 units, while at 12:00 and 16:00, it exceeded 82 units. Time of the day and pen design influenced the Flehmen response, mounts, and vocalizations ($P < 0.02$). During winter, mountings occurred when the THI was less than 69 units ($P < 0.01$), and they decreased when the index value increased to 74 units (18 vs. 10). The type of pen influenced the presentation of the Flehmen reaction ($P < 0.01$). For the assessment of diurnal behavior, the bovines were housed in pens provided with polypropylene shade (CCS) and pens without shade (CSS). At 8:00 h, the cattle under shade and cattle without access to shade were subjected to environmental conditions of thermal comfort category ($P < 0.01$); but at 12:00 h cattle under shade were in thermal danger and thermal alert at 16:00 h. For cattle without access to shade at 12:00 and 16:00 h, the thermal danger persisted ($P < 0.01$). Feed access was inhibited at

8:00 and 12:00 h and increased at 16:00 h, but rumination decreased at 8:00 and 16:00 h and increased at 12:00 h ($P < 0.01$). Rest indicators were mostly observed in danger and thermal alert ($P < 0.01$). The agonist indicators were inhibited at 8:00 and 12:00 h ($P \leq 0.04$). Social behavior was mostly manifest at 16:00 h ($P < 0.001$).

Keywords: beef cattle, behavior, THI, feed lot, dry tropic

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA

I. INTRODUCCIÓN

Comúnmente las investigaciones sobre el bienestar animal en granja se han basado principalmente en sistemas intensivos, mientras que el bienestar animal en sistemas extensivos ha tenido menos atención y por lo tanto menor marco de investigación. Es conocido que los sistemas de producción extensiva tienen diversos beneficios en términos de bienestar animal, pero no están exentos de estos problemas, principalmente relacionados a las condiciones climáticas, calidad y disponibilidad de alimento y dificultades para el acceso al agua, lo cual crea situaciones poco propicias de bienestar (Temple y Manteca, 2020). En condiciones de producción extensiva, en el ganado bovino productor de carne se ha identificado un repertorio de comportamientos que comprende cuarenta categorías identificables, y de todo este repertorio el consumo de alimento, rumiar y descansar, ocupan entre el 90 al 95 % del día (Kilgour *et al.*, 2012). En un trabajo de investigación se estudió el efecto del ambiente climático tropical en el confort térmico y su relación con el comportamiento conductual del ganado bovino en condiciones de pastoreo (Do Nascimento *et al.*, 2022); los bovinos mostraron actitudes favorables a su desempeño productivo en horas de la mañana, ya que la mayor parte del tiempo lo dedican a alimentarse, descansar y desplazarse.

Con relación a los sistemas de producción en confinamiento, aunque el ganado bovino es capaz de adaptarse a las condiciones climáticas y estresores ambientales, la exposición prolongada o extrema a estas condiciones de alojamiento, puede afectar el bienestar de los animales, así como el rendimiento y la calidad de la carne (Gaughan *et al.*, 2000); los esfuerzos iniciales del ganado para mantener la homeostasis cuando las temperaturas ambientales exceden la zona termoneutral del bovino, utilizan el enfriamiento por evaporación a través de la sudoración y el aumento de la tasa de respiración (Lees *et al.*, 2020; Romo *et al.* 2022).

Los sistemas intensivos de producción de carne bovina se caracterizan por lograr altos indicadores productivos en cortos periodos de tiempo; esa intensificación conlleva a que se modifiquen las prácticas de manejo implementadas hacia con los bovinos ya

que en este tipo de prácticas se insertan diversos agentes considerados como depresores del bienestar fisiológico, los cuáles provocan en los bovinos un complejo de reacciones que alteran su comportamiento natural (Suárez *et al.*, 2014). Al respecto, se ha observado que en el ganado bovino alojado en condiciones intensivas de producción puede manifestar un comportamiento estereotipado como manipular objetos o partes del cuerpo de sus congéneres, estas estereotipias pueden ser indicativo de un bienestar restringido (Schneider *et al.*, 2019).

Los bovinos son animales homeotermos debido a su capacidad para mantener su temperatura termo neutral mediante la modificación de procesos fisiológicos y conductuales (Renaudeau *et al.*, 2012); al respecto, en diferentes estudios se ha establecido que los bovinos tienen un desempeño más óptimo en una zona termoneutral de 20 °C, pero puede variar desde los 10 a los 26 °C; por ejemplo, en vacas maduras y bovinos pesados el rango es de 17 °C en invierno y 23 °C durante el verano; sin embargo, tienen dificultad para tolerar temperaturas superiores a los 27 °C, especialmente con valores de humedad relativa mayores a 40 %; cuando la temperatura ambiental supera la zona de confort y la humedad relativa es alta, en los bovinos se dificulta la capacidad para autoregularse por lo que se desencadena el estrés calórico, que puede manifestarse en la reducción del consumo de alimento y por consiguiente menor ganancia de peso (Mader *et al.*, 2007). Para enfrentar situaciones ambientales desfavorables, los bovinos realizan modificaciones fisiológicas y conductuales, con ello se establecen condiciones de termo neutralidad, sobre todo en épocas del año en las que están mayormente expuestos a condiciones medioambientales adversas cuando diversos factores se combinan durante periodos cortos de tiempo (Arias *et al.*, 2008). Se conoce que el comportamiento del ganado bovino es determinado por tres aspectos: el instinto, las percepciones sensoriales y la experiencia; el primero se refiere al comportamiento naturalmente motivado, la percepción sensorial es aquella que resulta de la interacción con el ambiente y del cual derivan situaciones desarrolladas con la experiencia adquirida ya sea negativa o positiva (Sowell *et al.*, 2000); en este sentido, se ha observado en el ganado bovino un tipo de comportamiento instintivo en referencia a la dominancia social que existe cuando las expresiones conductuales de una animal son inhibidas o alteradas por la

presencia o amenaza de otro animal, para de esta manera establecer dominancia jerárquica sobre otros individuos del mismo rebaño. Por ello, una de las formas de valorar el bienestar de los bovinos en el corral de engorda es a través del comportamiento agonista; esto se refiere a la conducta presente en un grupo en una situación de conflicto entre miembros de un grupo, y se manifiesta como amenaza, agresión, defensa, sumisión y evasión; este comportamiento es mayormente observado en animales confinados destinados a la producción de carne o leche (Blackshaw, 2003, Stackhouse-Lawson *et al.*, 2015, Foris *et al.*, 2019).

El comportamiento diurno del ganado productor de carne en confinamiento obedece a la influencia de los ritmos circadianos que son generados de forma endógena con una duración de aproximadamente 24 horas (Rivkees, 2007); se conoce que los ritmos circadianos son ritmos biológicos impulsados por un reloj biológico diario que persisten en un entorno constante (Brody, 2013). Existen diversos estudios que asocian los ritmos biológicos como reguladores esenciales de la vida y de las distintas actividades que desarrollan principalmente en bovinos productores de leche, por lo que es importante conocer esta asociación en bovinos productores de carne en finalización intensiva.

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente estudio es valorar el efecto medio ambiental en el confort térmico, comportamiento agonista y respuesta conductual diurna de bovinos productores de carne en finalización intensiva.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Etología y bienestar animal

La conducta de los animales domésticos es el objeto de estudio de la Etología Aplicada, parte de la biología que estudia los patrones conductuales de los animales y su relación con el hombre (Fraser y Broom, 1990); otra definición afirma que se trata de una disciplina de la psicobiología que aborda el estudio de la conducta espontánea de los animales en su medio natural; en tal razón, la etología considera que la conducta es un conjunto de rasgos fenotípicos, es decir, que está influenciada por factores genéticos y es, por lo tanto, fruto de la selección natural (Petryna y Bavera, 2002). En este sentido, Fraser y Broom (1990) afirman que esta disciplina tiene un avance considerable en el campo del conocimiento científico y debido a su importancia debe ser una de las áreas que integran el Curriculum formativo del Médico Veterinario Zootecnista, así como para la actualización de los principales actores que están involucrados en los sistemas de producción animal, de modo tal que su estudio se convierta en un aspecto esencial para mantener altos niveles de producción y a la vez mejorar las condiciones de bienestar de los animales (Aluja, 2011); de igual manera, en este contexto, también es importante la percepción del consumidor con respecto a la manera en como se producen los alimentos de origen animal (Alonso *et al.*, 2020). El bienestar animal tiene gran variedad de conceptos, comprende tanto la salud física como la mental e incluye varios aspectos tales como el confort físico, ausencia de hambre y enfermedad, posibilidades de desarrollar conductas motivadas, etc. (Welfare Quality®, 2009). La importancia de este tema dirigido a diferentes personas se centra en un área de conocimientos científicos basados en estudios de la conducta (etología) y fisiología de los animales, donde se puede evaluar de manera objetiva y clara el estado biológico de un animal y su calidad de vida con escalas que van desde malo o bajo, hasta muy bueno, pasando por niveles intermedios (Esquivel, 2015). Según el Código Sanitario para los Animales Terrestres de la Organización Mundial de la Sanidad Animal (2016), el bienestar animal es el modo en que un semoviente enfrenta las condiciones en las que vive; por su parte Hughes (1976), estableció que el bienestar es el estado de salud física y mental completo donde el animal está en armonía con su ambiente; a su vez Aluja (2011), afirma que es un estado que se puede

medir y que se basa en estudios fisiológicos y de conducta de los animales; mientras que la clásica definición de Broom (1986), refiere que el bienestar de un individuo es su estado en relación con sus intentos de afrontar el ambiente. En 1993, el Consejo Británico para el bienestar animal de granja (FAWC, por sus siglas en inglés) reconoció los estándares mínimos para el bienestar animal como las cinco libertades: 1) libres de sed, hambre y desnutrición; 2) libres de incomodidad; 3) libres de dolor, heridas y enfermedad; 4) libres para expresar su comportamiento habitual y 5) libres de miedo y angustia; proporcionando así cinco estándares que de cumplirse cubrirían las necesidades de los animales (OIE, 2013).

Las bases para determinar las necesidades de los animales se deducen a menudo de situaciones en las cuales hay alguna alteración en el ambiente físico (Albright y Arave, 1997). Dentro de estas alteraciones o modificaciones que sufre el ambiente de los bovinos se encuentran las condiciones de alojamiento y en el caso de la engorda intensiva los bovinos pueden mostrar estereotipos de comportamiento: conductas repetitivas, invariables y sin función inmediata aparente (Redbo, 1990), como manipular objetos o partes del cuerpo en específico con la lengua, o enrollar y desenrollar la lengua repetidamente; estas estereotipias pueden indicar bienestar restringido. Schneider *et al.* (2019), realizaron un estudio con el objetivo de analizar la prevalencia de estereotipias en 243 bovinos de engorda, machos, alojados en diferentes condiciones en corrales con camas de paja en grupos de 14, 16, 22 y 33 animales, los bovinos incluidos en un sistema de alojamiento se alimentaron seis veces al día, los otros bovinos recibieron alimento dos veces al día. El comportamiento de los bovinos se observó en tres etapas diferentes durante el período de engorda, y los resultados mostraron que 134 de 243 machos realizaron estereotipias al menos una vez y en diferentes sistemas de alojamiento, se produjo un promedio de 0.2 a 0.9 estereotipias por bovino y hora.

Confort térmico del ganado bovino

Los bovinos han desarrollado mecanismos de adaptación para sobrevivir a diferentes entornos climáticos expuestos a condiciones que causan estrés (Valadez y Miranda-de la Lama, 2023); es por ello que para evaluar o determinar el nivel de confort en el

que se encuentra el ganado bovino, se incluyen factores que se han clasificado como internos y externos; los factores internos están determinados por la genética, la salud y las características fisiológicas, de igual manera los animales se encuentran expuestos a múltiples factores externos en su entorno físico y social (Mellor *et al.*, 2020). Con base en la adaptabilidad del animal, y teniendo en cuenta la importancia de los estados emocionales positivos y la naturaleza dinámica del bienestar animal, es probable que un animal en lo individual se encuentre en un estado de bienestar positivo cuando es mental y físicamente capaz y además posee la capacidad y la oportunidad de reaccionar adecuadamente a estímulos, eventos y condiciones internas y externas adversas y esporádicas o duraderas (Arndt *et al.*, 2022).

Sobre este tema Grandin (2016) sugiere que existen tres factores básicos que pueden contribuir a detonar situaciones de estrés por calor en corrales de engorda al aire libre, entre ellos se encuentran principalmente la falta de sombra, bovinos alojados en corrales de finalización en condiciones de espacio insuficiente y el ganado de piel oscura, porque en particular esta característica provoca que significativamente retenga más calor que los animales con pieles de color más claro (Mader *et al.*, 2006). Otro factor a considerar es la diversidad genética porque es una clave para lograr el objetivo de salvaguardar la adaptabilidad de los animales a las condiciones ambientales cambiantes (Scherf, 2000), incluso en condiciones de alojamiento intensivo, los animales pueden estar expuestos a cambios dinámicos durante la permanencia en estos espacios físicos, y también se consideran los aspectos relacionados con el transporte, la mezcla de animales de distinta procedencia, cambios radicales de la temperatura ambiente y de la humedad relativa, así como el exceso de ruido (Arndt *et al.*, 2022).

Cambios desfavorables en el confort térmico del ganado bovino productor de carne modifica el comportamiento del bovino, lo que se interpreta como una forma de adaptación; en este sentido, en la tasa de respiración ocurren cambios graduales que dependen de la severidad e intensidad de los factores climáticos, que transcurren de jadeo con la boca cerrada a boca cerrada con salivación, boca abierta, boca abierta con la lengua fuera y de rápido superficial a la respiración lenta y profunda con aumento de la temperatura (Islam *et al.*, 2021; Romo-Valdez *et al.*, 2022).

Respuesta del ganado bovino al estrés por calor

El estrés por calor es el resultado de la combinación de tres distintos componentes: condiciones ambientales, susceptibilidad individual y manejo del rebaño; en los primeros se incluye a la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar, en lo segundo se incluyen diferentes factores como el color de pelo, sexo, temperamento, historia clínica, capacidad de adaptación y condición corporal, en tanto que en el manejo incluye el suministro de agua, alimento, alojamiento y operaciones relacionadas con el manejo (Brown-Brandl, 2018). El ambiente térmico influye de manera negativa en el ganado bovino productor de carne, ya que el confort y la productividad pueden comprometerse durante el periodo de exposición a las condiciones medioambientales adversas (Lees *et al.*, 2019).

El efecto de las condiciones climáticas en la respuesta fisiológica de los bovinos ha sido ampliamente estudiado, lográndose importantes avances en el entendimiento de los aspectos fisiológicos y de comportamiento animal bajo condiciones de estrés climático; ahora bien, mediante la evaluación de manera conjunta del efecto de factores tales como: radiación solar, humedad relativa, temperatura ambiental, velocidad del viento y precipitación pluvial es posible determinar el impacto de estas variables climáticas en los indicadores de bienestar animal (Mitloehner *et al.*, 2001; Brown-Brandl *et al.*, 2006b; Arias *et al.*, 2008).

En el mismo sentido, el estrés por calor afecta tanto directamente, al alterar la respuesta fisiológica e influir en las expresiones del comportamiento animal, como de forma indirecta al cambiar la disponibilidad de alimentos y del agua, así como contribuir a la diseminación de agentes patógenos y de vectores que afectan la salud, el bienestar y la productividad del ganado (Nardone *et al.*, 2010). Los eventos derivados del calor extremo pueden aumentar directamente la morbilidad y la mortalidad debido a enfermedades relacionadas con el incremento de la temperatura ambiente (Broadway *et al.*, 2020), sin embargo, las alteraciones conductuales y fisiológicas son indicadores de que ocurre una respuesta adaptativa al incremento de la temperatura ambiental.

La respuesta del ganado al estrés por calor aparece en diferentes formas, en estas se incluye la reducción del consumo de alimento (Rhoads *et al.*, 2013; Soriani *et al.*, 2013),

incrementa el consumo de agua (Días Coimbra *et al.*, 2012), se reduce la rumia (Soriani *et al.*, 2013), el ganado tiene a permanecer mayor tiempo bajo la sombra (Brown-Brandl *et al.*, 2005; Lees *et al.*, 2020), y cuando la densidad sobrepasa la disponibilidad de espacio en el corral ocurre mayor agrupación (Mader *et al.*, 2002), y con ello, también incrementa el número de bovinos en posición de pie con reducción de la capacidad de acostarse (Allen *et al.*, 2015), además de los cambios que ocurren en la dinámica respiratoria (Mader *et al.*, 2006; Brown-Brandl *et al.*, 2006a; Gaughan y Mader, 2014).

Cada una de estas formas tiene como objetivo reducir la producción de calor metabólico y aumentar la disipación del calor corporal en el medio ambiente. Cuando la pérdida de calor sensible, en las formas conductiva y convectiva es inadecuada, la pérdida de calor insensible (o latente) aumenta a través del incremento de la sudoración y la tasa de respiración en condiciones de calor, humedad y alta radiación solar (Franco Pereira *et al.*, 2014; Romo-Valdez *et al.*, 2022).

Mecanismos de adaptación al ambiente climático

Al incrementar la temperatura del ambiente, se puede afectar directamente la producción y la actividad reproductiva del ganado bovino porque el estrés por calor impacta negativamente en la fisiología, en el sistema inmunológico y en el comportamiento (Abduch *et al.*, 2022); entonces, el estrés por calor en el ganado domesticado surge cuando las condiciones del medio ambiente desafían los mecanismos termorreguladores del animal (Thornton *et al.*, 2021), sin embargo, el ganado bovino tiene la capacidad para adaptarse a las condiciones climáticas y a los factores ambientales causante de estrés, pero la exposición prolongada o extrema a estas condiciones puede influir de manera negativa en el bienestar animal, en el rendimiento e impactar desfavorablemente en la calidad de la carne (Davis *et al.*, 2022).

Al respecto Arias y Mader (2023), refieren que en la última década las olas de calor se presentan de manera más recurrente y en consecuencia se afecta sustancialmente el confort térmico al crearse un entorno desafiante para el ganado bovino en el corral de engorda; en este sentido, se afirma que el microclima que rodea al ganado ejerce un

poderoso efecto sobre la salud, el nivel de productividad y la supervivencia de los animales; por lo tanto, cualquier cambio en una o más de estas variables puede afectar el bienestar y la productividad de los animales. A lo anterior se suma que el clima cálido y húmedo propio de las regiones tropicales, ejercen alta presión sobre la fisiología del ganado, ya que bajo estas condiciones se excede la zona termoneutral y se pone a prueba su capacidad para mantener la homeostasis, por lo que la termorregulación mediante la sudoración y el jadeo, puede verse comprometida, si la persistencia de estas condiciones propicia la presentación del estrés por calor (Abduch *et al.*, 2022; Hernández *et al.*, 2022); en el caso particular de los bovinos, cuando la temperatura ambiente excede el valor de 27 °C, y la humedad relativa es superior a 40 %, comienzan a tener dificultades para autoregularse, lo que se interpreta como que el ganado es vulnerable a las altas temperaturas ambientales, que conducen a la presentación de estrés por calor severo que resulta en problemas de comportamiento y bienestar (Idris *et al.*, 2023), situación en el que los indicadores productivos puede manifestarse en la reducción del consumo de alimento y por consiguiente en menor ganancia de peso (Mader *et al.*, 2007), debido al gasto energético adicional para mantener la temperatura corporal, en esta circunstancia también se pueden generar respuestas conductuales adversas para disminuir el efecto del estrés calórico (Bernabucci *et al.*, 2010). Tanto la frecuencia respiratoria como el jadeo son indicadores apropiados para medir la intensidad del estrés calórico que sufren los bovinos (Gaughan y Mader, 2014).

En la Figura 1 se muestra la representación esquemática de la zona de supervivencia de los animales a las condiciones climáticas confortables y adversas.

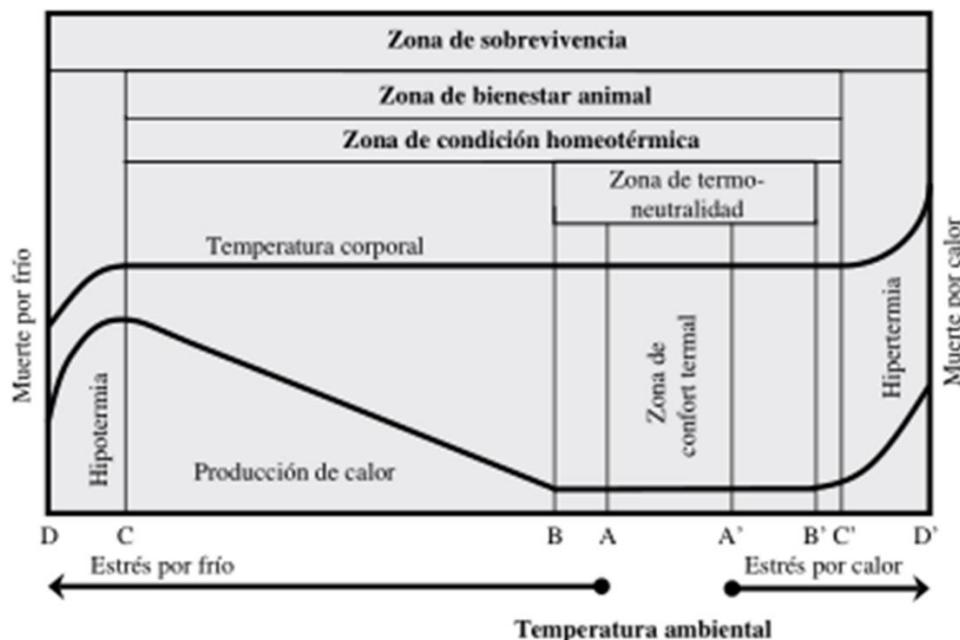


Figura 1. Representación esquemática de las condiciones ambientales críticas para la supervivencia animal (adaptado de Bianca, 1968 y Silanikove, 2000).

En esta figura se describe la zona de bienestar animal con las letras C a C' que coincide también con la zona de condición homeotérmica. Se destaca la zona de termoneutralidad representada con las letras B a B' y dentro de ella la zona de confort térmico con las letras A a A'; la zona comprendida entre A' a D' representa a la condición denominada estrés por calor en la cual el riesgo latente para los bovinos en condiciones ambientales adversas es la hipertermia y en consecuencia puede ocurrir la muerte por golpe de calor.

Mitigación del estrés por calor

En general, los sistemas de alojamiento y las características ambientales pueden influir en el bienestar del ganado productor de carne (Park *et al.*, 2020). En este sentido, la función de la sombra es reducir la carga térmica del ganado en condiciones ambientales que están por encima de su zona termoneutral al reducir la carga solar, cambiando así el microclima esto con el objetivo de disminuir el riesgo y las consecuencias del estrés por calor (Edwards-Callaway *et al.*, 2021).

El proporcionar sombra en los corrales de finalización intensiva de ganado bovino influye en la disminución de pérdidas directas o indirectas para la ganadería (Brown-Brandl *et al.*, 2005). Renaudeau *et al.* (2012), indicaron que el uso de sombras ayuda a mitigar el estrés calórico; de la misma manera, Mitlöhner *et al.* (2001), observaron que los bovinos alojados bajo sombra proporcionada por tela de polipropileno al 80 % de filtración solar (FS) a una altura de 3 m, mostraron tasa de respiración menor, así como mayor CMS y GDP, llegando a peso de finalización 20 días antes que los bovinos no sombreados. Blaine y Nsahlai (2011), en Sudáfrica en época de invierno, donde proporcionaron 2.87 m² de sombra por cabeza, proveniente de lámina de fierro corrugada, colocada a 5 m de altura, observaron que los bovinos alojados bajo sombra obtuvieron mayor peso final que los alojados sin sombra, así como una mayor GDP y mejora en la conversión alimenticia; además, la diferencia del peso de las canales fue superior; en cuanto a la relación del estrés calórico, indicaron disminución del jadeo y aumento en el tiempo de reposo.

Por su parte Barajas *et al.* (2013) realizaron un experimento con el objetivo de evaluar los beneficios de proporcionar sombra en el comportamiento productivo de cruza de ganado bovino tolerantes al calor; en este experimento se asignaron tres diferentes áreas de sombra de lámina galvanizada: 3.3, 2.8 y 2.4 m² por cabeza; los autores concluyeron que proveer sombra bajo las condiciones climáticas del desierto californiano, mejoró la espuesta productiva y la eficiencia en la utilización de la energía. Al analizar el impacto de la disponibilidad de sombra en el corral de engorda bovina Castro *et al.* (2020), determinaron que al proporcionar 2.4 m² de sombra por cabeza no mejoró el desempeño productivo de los bovinos; sin embargo, la combinación de sombra más ventiladores mecánicos aumentó la ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia, pero estas mejoras no se asociaron con un aumento en el consumo de materia seca, sino con la mejora en el índice de temperatura y humedad, y a la mejor utilización de la energía para mantenimiento. Lees *et al.* (2020) asignaron 3.0 m² de sombra por cabeza, a 4 m de altura, proporcionada por tela de sombra color negro con 90 % de filtración; los autores refieren que la mayor utilización de la sombra a la hora de mayor exposición solar se registro en novillos Angus, seguido de Charolais y en menor proporción por los novillos Brahman. Pero, todos los grupos raciales exhibieron

un aumento notable en la puntuación media de jadeo expresada esta variable como carga de calor.

En Australia, con novillos Angus, donde se proporcionó 3.3 m² de sombra por bovino, con tela de polipropileno negra al 80 % de FS a 4 m de altura, Gaughan *et al.* (2010), observaron menor temperatura corporal y jadeo en los animales alojados con sombra, así como mayor CMS, GDP, peso de finalización y peso de la canal caliente, con relación a los no sombreados. Sullivan *et al.* (2011), en una investigación valoraron la disponibilidad de sombra (0, 2.0, 3.3 y 4.7 m²/ animal) proporcionada por tela solar al 70 % de FS de color negro a 4 m de altura; se demostró que el proporcionar sombra a los bovinos de engorda mejoró el bienestar y el rendimiento, mientras que las diferentes áreas de sombra/bovino no afectan las variables productivas, pero las sombras mayores a 2.0 m² producen mejor bienestar animal. Se conoce que el ganado bovino tolera un amplio rango de temperaturas ambientales siempre y cuando estén sanos, bien alimentados y que no se expongan a extremos de radiación solar, humedad relativa y viento; al respecto, en un estudio realizado por Barajas *et al.* (2010a), determinaron la respuesta productiva de toretes en finalización, mediante un experimento con diseño de bloques completos al azar, en el que se midió el efecto de la sombra dentro del corral de engorda, donde se demostró que los bovinos que recibieron el tratamiento con sombra tuvieron un incremento del 14 % en la respuesta productiva en finalización durante la época fresca y seca en el Noroeste de México. En otro estudio que se llevó a cabo en la época calurosa, se utilizaron 60 toretes donde se midió la respuesta productiva mediante animales expuestos a la sombra y sin sombra, donde se concluyó que el uso de sombra (corraletas con piso de tierra de 6 x 12 m, provistas de un techo que proporcionó 3 m² de sombra por cabeza), es necesario para ayudar a los bovinos a enfrentar el estrés calórico y mitigar sus efectos en la respuesta productiva durante la finalización (Barajas *et al.*, 2010b).

Valdez-Noriega *et al.* (2019), en dos sistemas de alojamiento, uno que consistió en proporcionar sombra a base de malla termoplástica y otro sin sombra, valoraron la salud, bienestar y la respuesta productiva de novillos Cebú en ambiente frío y árido; en relación con la salud física, el análisis de supervivencia indicó que el número de novillos sanos disminuyó a medida que aumentaban los días de permanencia en el

corral de engorda y se observaron más novillos enfermos en el tratamiento sin sombra; en cuanto al bienestar, novillos del tratamiento sin sombra se mantuvieron de pie mayormente de las 12:00 a 14:59 h, que se consideró el período más caluroso del día y mostraron propensión a consumir alimento. Los novillos bajo sombra mostraron predisposición a echarse y rumiar durante el mismo período del día, así exhibir mayor acercamiento al bebedero; finalmente, los novillos bajo sombra lograron mayor peso final (599.7 ± 46.4 vs. 569 ± 31.6 kg), Los novillos sin sombra consumieron más alimento, pero los novillos bajo sombra tuvieron mayor ganancia diaria de peso y mejor conversión alimenticia.

Otro factor que considerar en la mitigación del estrés por calor se refiere al espacio vital. Los estudios de la densidad del corral en relación con la respuesta productiva aun son escasos, al respecto Ha *et al.* (2018), realizaron una investigación acerca de la densidad y la respuesta productiva de los bovinos productores de carne; en dicho estudio los autores afirman que al aumentar el espacio por animal en los corrales de engorda puede representar mejoras en el bienestar de los bovinos, ya que estos pueden expresar su comportamiento natural, tienden a aumentar su comportamiento social y disminuyen las conductas agonistas, las cuales suelen presentarse en corrales con un menor espacio vital por animal; en el estudio ya referido, también se observó una mejora en las características de la canal, tales como el área del ojo de la costilla (AOC) y el porcentaje de marmoleo; en otro estudio, realizado por Lee *et al.* (2012), encontraron que una baja densidad por corral ayuda a que los bovinos crezcan a mayor velocidad, se obtiene un AOC de mayor tamaño, se mejora la eficiencia alimenticia, la GDP y se mejora el peso de las canales.

Un esquema representativo de los factores que influyen en el balance térmico del ganado bovino se muestra en la Figura 2.

Este balance se logra a través de un constante proceso termorregulatorio que involucra el flujo de calor mediante cuatro vías básicas; tres de estas vías (conducción, convección y radiación) son conocidas como transferencias sensibles, ya que basan su operación en la gradiente térmica, mientras que la cuarta vía (evaporación) opera a través de una gradiente de presión de vapor y se le denomina pérdida insensible de calor o pérdida latente (Collier *et al.* 2006).

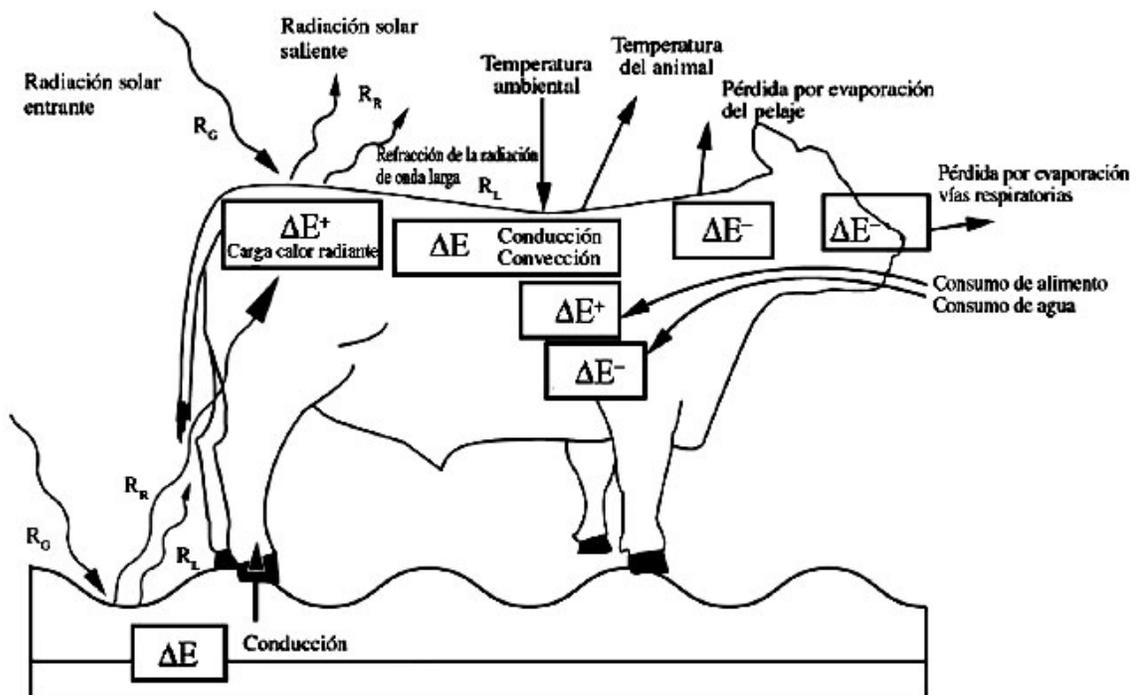


Figura 2. Balance térmico en el ganado bovino de carne (adaptado de Meat & Livestock Australia, 2002).

Ciclos circadianos y la conducta

Los relojes circadianos son sistemas reguladores internos clave sostenidos en células de muchos tipos, incluidas neuronas, fibroblastos e incluso glóbulos rojos que no tienen núcleos (Herzog, 2007; O'Neill y Reddy, 2011). En los animales, las células del reloj circadiano se organizan en múltiples marcapasos celulares y, junto con los ritmos que regulan, se definen como el sistema circadiano. El sistema circadiano incluye relojes maestros como el núcleo supraquiasmático de mamífero (SCN) en el cerebro, y ritmo periférico - fabricantes que pueden regular los procesos rítmicos en órganos como el hígado, el corazón y ovario. Los marcapasos en todo el cuerpo y sus ritmos impulsados interactúan a través de la señalización neuronal, endocrina o paracrina, o están acoplados por la acción de señales ambientales sincronizadoras externas que arrastran ritmos circadianos al ciclo diario (Menake, 2006; Herzog, 2007).

Los mamíferos presentan cambios diarios de sus parámetros hormonales, metabólicos, neurales y conductuales que se repiten aproximadamente cada 24 horas;

los cambios hormonales están controlados por un reloj biológico que necesita acoplarse a los cambios cotidianos detonados por la presencia de luz/oscuridad (Caba, 2015). Este reloj biológico está ampliamente extendido, se encuentra en plantas, animales, hongos e incluso bacterias, probablemente tiene una ventaja selectiva en la naturaleza ya que permite a los organismos anticiparse a la presentación de determinados eventos o restringir ciertos procesos que pueden ser fotosensibles (Brody, 2013); en estas funciones se incluye el metabolismo de los alimentos y la energía, y están implícitas las fluctuaciones en la regulación de la glucosa en sangre, el metabolismo de las proteínas y de los ácidos grasos; un vínculo importante y estrechamente conectado con el reloj biológico y el metabolismo es la adaptación del organismo a los horarios de alimentación importantes para la salud y la fisiología óptima (Rothenburger, 2017).

Los principales componentes del comportamiento ingestivo en bovinos en condiciones extensivas son los tiempos de pastoreo, rumia, bebida, ocio, tasa y masa del bocado; esta última es el primer componente en ser afectado cuando los bovinos sufren alteraciones en la oferta de alimento (Provenza, 1992). Según Galli *et al.* (1996), el tiempo de pastoreo, en ganado de carne, varía entre 4 y 14 horas al día con diferencias entre vacunos de distinto tamaño, pero son más activos en horas de la mañana que en horas de la tarde. El tiempo invertido en rumiar en los animales adultos es de 8 horas por día con variaciones entre 4 y 9 horas, divididas en 15 a 20 períodos (Di Marco y Aello, 2002).

El sistema responsable de la generación y la regulación de los ritmos circadianos es el sistema de tiempo circadiano; este sistema neuronal consta de un reloj biológico, vías de entrada y vías de salida. Los núcleos supraquiasmáticos pareados en el hipotálamo anterior son el sitio de un reloj biológico, se encuentran por encima del quiasma óptico en la base del tercer ventrículo, exhiben ritmicidad endógena y tienen un periodo de oscilación cercano a las 24 horas (Rivkees, 2007).

La asociación entre ritmo circadiano y la conducta de los animales está regulada por procesos fisiológicos que se afectan a los animales que duermen, el patrón de alimentación, actividades de ondas cerebrales, producción de hormonas y otras actividades biológicas relacionadas con el ciclo diario. La luz que entra a la retina del

ojo es transformada en impulsos nerviosos que son transmitidas a los núcleos hipotalámicos del sistema nervioso central, estos núcleos son los principales generadores de ritmos circadianos y son parte del sistema de arrastre que sincroniza al animal con medio ambiente, especialmente en condiciones de iluminación, en tal situación el sistema circadiano está regulado por la longitud de onda, la intensidad, tiempo y duración del estímulo de la iluminación (Singh y Kumar, 2018).

Para valorar la variación diurna de la conducta con base a indicadores de bienestar en bovinos productores de carne en finalización intensiva en clima desértico cálido, Romo *et al.* (2019), realizaron un estudio observacional prospectivo, registrando las pautas conductuales, temperatura ambiental, humedad relativa e índice de temperatura y humedad (ITH), variables que se registraron a las 8:00, 12:00 y 16:00 h. los resultados arrojaron que el promedio de la temperatura ambiental fue de 28.7 °C, humedad relativa de 24.1 % e ITH de 72.8 unidades, la respuesta conductual diurna de los bovinos en finalización intensiva en clima desértico cálido obedece a ritmos biológicos para adaptarse al medio ambiente que asegure su sobrevivencia.

Efecto del ambiente físico en la conducta habitual del bovino

Los mamíferos domésticos nacen con patrones conductuales fijos como el instinto de mamar, no obstante, la mayor parte de sus patrones de conducta se desarrollan a través del juego con otros animales y bajo la influencia de factores ambientales y genéticos (Gasque, 2008). En el caso particular de los bovinos, dependen en gran medida de la visión para ubicarse en un ambiente determinado; las sombras y luces, charcos, cambios de suelo, objetos móviles, presencia de personas, tipo de corral, paredes, puertas y techos sólidos, alteran su comportamiento habitual (Canosa y Acuña, 1996).

Los bovinos al igual que todos los mamíferos, son animales homeotermos, es decir, organismos que a pesar de las fluctuaciones en la temperatura ambiental son capaces de mantener relativamente constante la temperatura corporal; esta capacidad es esencial para que las reacciones bioquímicas y procesos fisiológicos asociados con el metabolismo se lleven a cabo (Sanmiguel y Díaz, 2011). Para mantener la temperatura corporal se necesita ganar o perder calor que proviene del medioambiente circundante; este proceso denominado balance térmico, se logra a través de un constante proceso

de termorregulación que involucra el flujo de calor mediante cuatro vías básicas: conducción, convección, radiación y evaporación; cuando los mecanismos fisiológicos para mantener la termo neutralidad no son suficientes el animal ingresa en lo que se conoce como zonas de estrés térmico (Beatty *et al.*, 2006). En relación al comportamiento, para evitar los efectos del exceso de calor los bovinos también modifican su comportamiento habitual; bajo condiciones de estrés por calor los animales disminuyen el tiempo dedicado a consumir alimento y el que permanecen echados, aumenta el tiempo dedicado a beber agua y el que permanecen de pie cerca de los bebederos; también es posible observar cambios en la distribución del ganado dentro de los corrales, permaneciendo más tiempo en aquellos lugares con mejor ventilación (Arias *et al.*, 2008).

CONCLUSIONES

Conforme avanzan los años y la población humana se incrementa, va en aumento una creciente cultura inclinada hacia lo amigable, saludable, ecológico, orgánico y sobre todo que esto tenga relación con el estado de salud física, porque en ella se incluyen los alimentos y la preocupación por su procedencia.

La temática acerca del bienestar de los animales, si bien, lleva algunos años como una tendencia científica, recientemente continua con un ascenso constante en materia de investigación científica con los aportes al conocimiento por parte de diversos autores que bajo circunstancias específicas determinan el efecto de conjuntos de variables en el comportamiento, respuesta productiva y grado de confort de las especies domesticadas, particularmente en este caso del bienestar de los bovinos productores de carne en confinamiento.

El brindar condiciones adecuadas de alojamiento a los bovinos es un tema recurrente en las diversas investigaciones, ya que trata de demostrar los beneficios que ello implica en materia de bienestar, porque en este aspecto además se incluyen las condiciones climáticas del sitio geográfico donde se lleva a cabo el proceso de engorda y finalización, y con referencia de los indicadores de comportamiento conductual de los bovinos sumado a los indicadores productivos, se brindan las condiciones adecuadas para el ganado productor de carne durante su estadia en el corral de engorda, lo cual implica una mejoría de los sistemas productivos y representa una actividad satisfactoria para el productor.

Conocer la conducta natural de los bovinos y las condiciones óptimas para expresar su máximo potencial productivo contribuye a desarrollar protocolos para mejorar y beneficiar sus condiciones, lo cual influye directamente en su bienestar.

CAPÍTULO 2: ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DEL ESTRÉS POR CALOR EN BOVINOS PRODUCTORES DE CARNE EN FINALIZACIÓN INTENSIVA EN EL TRÓPICO SECO MEXICANO

ARTÍCULO 1

Heat stress mitigation strategies in beef cattle in feedlot in the dry Mexican tropics

Zazueta-Gutiérrez, Ana C.; Romo-Valdez, Ana M.; Castro-Pérez, Beatriz I.; Ríos-Rincón, Francisco G.* Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Culiacán, Sinaloa, México*

Corresponding author: fgrios@uas.edu.mx

ABSTRACT

Objective: Assess mitigation strategies for heat stress of feedlot cattle in Mexican tropical weather.

Approach: Beef producing cattle represents one of the main activities of the agricultural sector; therefore, in order to maintain feedlot inventories, a considerable number of cattle are displaced from geographic locations where the climatic conditions are not favorable for most of the year. High environmental temperature combined with relative humidity create heat stress conditions and consequently affect feedlot performance by compromising the physiological stability in cattle.

Implications: The improvement of housing conditions to mitigate the effects of heat stress in feedlot beef cattle implies considering the living, shade, and feedbunk and water trough spaces to ensure the best welfare possible for these animals during their stay in the livestock production unit.

Conclusions: Heat stress mitigation strategies in feedlot beef cattle under practical conditions contribute to mitigate stress effects while improving animal welfare and performance indicators in the Mexican dry weather.

Key words: cattle, meat production, heat stress.

INTRODUCTION

In Mexico, beef cattle production represents one of the principal activities of the agricultural sector, due to its contribution to the supply of meat products, as well as its participation in the country's trade balance (Rubio *et al.*, 2013; FIRA, 2019). The evolution of the world beef market and the competitiveness of the countries participating in it influence the dynamics of this activity (Magaña *et al.*, 2020). In this sense, beef production in 2019 reached a historical maximum of two million tons, which is 2.4% higher compared to 2018; 86% of the Mexican beef exports went to the United States. In this activity, the states of Veracruz, Jalisco, San Luis Potosí, Sinaloa and Chiapas stand out, producing 838,930 tons, this implies a contribution of 41.3 % of the national total (SADER-SIAP, 2019).

In Northwestern Mexico, the Culiacán Valley, Sinaloa is located at 24° 48'00" 'N and 107° 23' 00" W and 70 m asl; the average maximum temperature is 36 °C, persistent during the spring-summer-autumn period, and an average minimum of 11 °C during winter; the average annual relative humidity is 68%, its maximum 98% and minimum 14% (CIAD, 2018). It has dry tropical climatic conditions (BS1(h')w(w)(e)) (Garcia, 2004) and an estimated 493,164 head of cattle are annually housed in feedlots, where 106,289 t are produced, it is equivalent to 5.4% of the national beef production. Renaudeau *et al.* (2012) state that the decrease in cattle production indicators in hot regions is affected by several factors. The main one is heat stress, which is generated by high environmental temperatures; this thermal condition occurs once the environmental temperature exceeds the cattle's thermo-neutral zone, which prevents them from dissipating the extra heat (Bernabucci *et al.*, 2010). Therefore, the objective of this research was to review heat stress mitigation strategies in intensive cattle feedlots in the dry tropical region of Mexico.

¿What is stress?

The biological expression of stress has been used as an indicator of the loss of animal welfare (Broom, 2003) and is defined as the action of sensory and emotional stimuli provoked by the environment on the nervous, endocrine, circulatory and digestive

systems of an animal (Broom, 2005). It is referred to as distress when the animal's response to the stressor causes risks to its well-being and life (Mormède *et al.*, 2007).

Physiological response to heat stress

The body temperature of cattle can vary from 37.8 to 40 °C; within this range, their organism efficiently fulfills its cellular and biochemical functions, due to this, they need to generate or dissipate heat towards the environment; when they face diverse environmental conditions to which they are not adapted, they tend to alter their physiological, behavioral and productivity mechanisms, to maintain their body temperature (Arias *et al.*, 2008). For this reason, thermoregulation mechanisms are activated (Sanmiguel and Avila, 2011). Several studies have established that cattle perform better in the thermoneutral zone of 20 °C, which varies between 10 to 26 °C; but when the temperature exceeds 27 °C, especially if relative humidity exceeds 40%. Then, they begin to have difficulties to self-regulate and heat stress is triggered, which manifests as reduced feed intake and consequently lower weight gain (Mader *et al.*, 2007; Lagos *et al.*, 2014). Due to the environmental temperature being above the comfort zone, the heat load causes cattle not to dissipate heat without additional energy expenditure to maintain corporal temperature; this generates physiological and behavioral responses to ease the effect of heat stress (Bernabucci *et al.*, 2010). Both respiratory rate and panting are appropriate indicators to assess the intensity of heat stress experienced by cattle (Brown-Brandl *et al.*, 2005; Gaughan and Mader, 2014).

Heat stress, an approach to beef production

To reduce heat load in high-temperature conditions, cattle tend to reduce heat production through voluntary anorexia, since fermentation of the rumen and digestion generates heat (Cedeño, 2011); which consequently decrease energy consumption, a negative energy balance is generated, which partially explains their weight loss and end up with a poor body condition when subjected to heat stress (Muñoz *et al.*, 2013). Valente *et al.* (2015) mention that cattle of breeds specialized for meat production tend to decrease in 24% their dry matter consumption during the day under heat stress conditions, reducing metabolic heat production; consequently, water consumption

increases their physiological response to decrease body temperature. Pereyra et al. (2010) observed that the frequency to access water also increases; though, cattle appear to drink, but do not do so, due to a decrease in their body activities, including feed intake and walking. With rumination decreased, increased respiratory rate and panting, the concentration of HCO₃ decreases, generating the risk of ruminal acidosis, affecting weight gain and consequently feed conversion (Malafaia *et al.*, 2011).

To increase the heat loss through evaporation, the respiratory rate increases under heat stress conditions (Morais *et al.*, 2008; Bernabucci *et al.*, 2010). Research has shown that Angus cattle have elevated respiratory rate, even in comfort temperatures, due to the demanding rate of weight gain, which implies an extraordinary metabolic activity and consequently metabolic heat production gets elevated (Valente *et al.*, 2015). Cattle under heat stress tend to lose more saliva and minerals such as sodium and potassium, besides the potential ruminal acidosis due to the excessive saliva loss effect (Hall, 2000). These conditions negatively impact the productive indicators and consequently generates economic losses for the beef industry (O'Brien *et al.*, 2010; Renaudeau *et al.*, 2012).

Temperature and relative humidity index: effect on caloric load Thom published in 1959 a famous formula to calculate a thermal discomfort index based on the ambient temperature and relative humidity, focused on the human population. Similarly, the effect of climate on animal production has been highly studied, achieving important advances to understand physiological and behavioral aspects of animal behavior under climatic stress conditions, by jointly evaluating factors such as solar radiation, relative humidity, ambient temperature, wind speed and rainfall; together, these variables have a direct effect on animal welfare (Mitloehner *et al.*, 2001; Brown-Brandl *et al.*, 2006). Mader *et al.* (2006) applied the following equation to assess heat stress in feedlot beef cattle:

$$TH = 0.8 * \text{ambient temperature} + (\% \text{ relative humidity} / 100) * (\text{air temperature} - 14.4) + 46.4$$

and used the Livestock Weather Safety Index (LWSI), published by LCI in 1970, as a reference to assign heat stress levels to the following categories: Comfort, ≤ 74 ; Alert, $74 < ITH < 79$; Danger, $79 \leq ITH < 84$; and Emergency, $ITH \geq 84$. In this way, the

temperature and humidity index are indicators used to measure the heat stress degree to which cattle are subjected (Gaughan et al., 2008; Olivares et al., 2013).

Climatic conditions at Culiacán valley

Table 1 shows a summary of the climatic variables frequently recorded throughout the months in the valley of Culiacán, Sinaloa, México.

Table 1. Annual summary of climatic variables in the Culiacán valley, Sinaloa

Month	T Min (°C)	T Max (°C)	HR, (%)	ITH Min	ITH Max	UV	Ligth (h)	Sun (h)
January	10.9	27.8	72	52.6	78.3	5	10.8	6.1
February	11.3	28.9	70	53.3	79.7	7	11.4	6.7
March	12.1	30.5	67	54.5	81.6	10	12.0	7.4
April	14.5	32.8	65	58.1	84.6	11	12.8	7.1
May	18.0	34.9	64	63.1	87.4	12	13.4	8.0
June	23.2	35.9	67	70.9	89.5	12	13.7	7.4
July	24.1	35.5	72	72.7	90.0	12	13.5	6.2
August	23.8	34.8	75	72.5	89.5	12	13.0	6.4
September	23.6	34.4	75	72.2	88.9	11	12.3	6.5
October	20.7	34.2	72	67.5	88.0	9	11.6	7.4
November	15.6	31.5	71	59.7	83.7	6	10.9	7.1
December	12.2	28.2	72	54.6	78.9	5	10.6	5.9

T: ambient temperature in degrees Celsius; RH: relative humidity in percent; THI: temperature and humidity index; UV: ultraviolet radiation. (Fuente de los datos)

The maximum average value of THI indicates that, during winter, cattle are in distress, and from spring to fall in emergency conditions (Table 2). Heat stress is associated with reduced productivity and animal welfare, especially during the summer months (Lees *et al.*, 2019).

Table 2. Heat stress categories for animals in production established by the World Meteorological Organization (1989).

THI	Categories	Interpretation
< 70	Confort	Suitable conditions, the animal is not under any heat stress.
71 – 79	Alert	Approaching the critical limit of production; prepare to take precautions, do not leave animals exposed to the sun.
80 – 83	Danger	Above the critical limit of production; do not subject the animals to too many movements.
> 84	Emergency	Extreme heat stress conditions in production; minimize any activity, activities should be done during the morning.

Therefore, it is considered necessary to establish mitigation measures to ease the heat stress consequences.

Heat stress mitigation measures

To maintain body temperature, cattle need to gain or lose heat from their surrounding environment; this process, called heat balance, is achieved through a constant thermoregulation process that involves the flow of heat through four basic pathways: conduction, convection, radiation and evaporation. When the physiological mechanisms to maintain thermoneutrality are not sufficient, the animal enters what is known as the heat stress zone (Beatty *et al.*, 2006). Cattle can subsist in adverse climatic conditions, for which, various individual characteristics are involved; however, there are geographical areas, such as tropical regions, where mitigation measures need to be implemented. One of the main mitigation measures is shading feedlots, which reduce the impact of solar radiation and heat load by up to 30% (Brown-Brandl *et al.*, 2013). To avoid the excess heat effects, cattle also modify their usual behavior; under heat stress conditions they decrease the time spent consuming feed and lying down, increase the time spent drinking water and standing near water troughs; or places with better ventilation (Arias *et al.*, 2008). If their body temperature reaches a

critical level, the animals may die due to the lack of control over the regulation of this physiological indicator (Renaudeau *et al.*, 2012). In this matter, Gaughan and Mader (2014) observed that panting is a heat stress indicator in cattle. In this regard, several authors indicate that shading helps to mitigate heat stress; Mitlöhner *et al.* (2001), Mitlöhner *et al.* (2002), Gaughan *et al.* (2010), Blaine and Nsahlai (2011) and Sullivan *et al.* (2011) agree that shade availability helps cattle to mitigate heat load.

Availability of shade in feedlots

Providing shade in intensive beef cattle finishing pens influences the reduction of direct or indirect losses in livestock (Brown-Brandl *et al.*, 2005). Renaudeau *et al.* (2012) indicated that shade usage helps to mitigate heat stress; similarly, Mitlöhner *et al.* (2001) noted that cattle housed under the shade provided by 80% solar filtering (FS) polypropylene fabric at a 3 m height, had lower respiration rate, as well as higher feed intake and higher weight gain, reaching finishing weight 20 days earlier than cattle without access to shade. Blaine and Nsahlai (2011), in South Africa during the winter season, provided 2.87 m² of shade per head, from corrugated iron sheeting, placed at a 5 m height. They observed that cattle housed in shade obtained higher final weight than those housed without shade, as well as higher weight gain and improved feed conversion; also, the carcass weight difference was higher; they also indicated a panting decrease and increased resting time. In Australia, Angus steers were provided with a 3.3 m² shade per bovine, with a black polypropylene fabric at 80% FS at 4 m height. Gaughan *et al.* (2010) observed lower body temperature and panting in animals housed with shade, as well as higher CMS, GDP, finishing weight and hot carcass weight. Sullivan *et al.* (2011) assessed the shade availability (0, 2.0, 3.3 and 4.7 m²/animal) provided by 70 % black FS solar fabric at 4 m height; it shows that shade-providing improved animal welfare and performance, while different areas of shade/bovine did not affect productive variables, but shades greater than 2.0 m² improved bovine welfare. In a tropical climate, Castro *et al.* (2020) determined that increasing shade space in feedlots tends to linearly increase the average of daily gain and dry matter intake; this effect was more evident between 1.2 and 2.4 m² of shade/head.

The recommended shade space is 3.7 m² in adult animals (Gasque, 2008); the shade height should be at least 4 m so that it does not interfere with air movement and thus achieve greater projection inside the pen; a strategy to keep the floor of the pen dry is to leave unshaded spaces of 15 cm in the structure (Lagos *et al.*, 2014).

Feeding space

While feeding cattle tend to show hierarchical behavior, because those of higher rank fed first (Méndez *et al.*, 2013); the required space may vary between young animals and large animals; for young animals, a linear space of 0.45 m per head is required, and larger than 300 kg animals require 0.70 to 0.90 linear m per animal (Gasque, 2008; Lagos *et al.*, 2014).

Drinking trough space requirements

Water troughs are an important part of feedlots, since they provide fresh, clean water in necessary quantities, so the required size of water troughs is 30 cm² per 10 bovines; these should not be deep, to avoid water stagnation and consequently its contamination, offering less freshwater for cattle (Lagos *et al.*, 2014).

Feedlot density

It is important to take into account for the construction of the pens for intensive feedlots, cattle in production require a living space where they can express their natural behavior while remaining within the finishing cycle (Gasque, 2008); the required living space for fattening animals is of 18.5 m² per animal, but this can be modified according to the animal's weight, requiring up to 15 m² per animal when they weigh 300 kg or less, and 20 m² per animal over 400 kg; this is why, the number of cattle per pen should be established according to the m² of available surface area in the feedlot (Lagos *et al.*, 2014). The scientific information regards the effect of feedlot density and its relationship with the productive performance of cattle is limited; in this sense, Ha *et al.* (2018) researched the density and the productive response of cattle; in that research, the authors state that increasing the space per animal in feedlots can improve the cattle's welfare, since they can express their natural behavior, tend

to increase their social behavior and decrease agonistic behaviors, which usually occur in pens with less living space per animal. In the aforementioned study, an improvement in carcass characteristics, such as rib-eye area (REA) and marbling percentage, was also observed; in another study, conducted by Lee *et al.* (2012), they reported that a low density per pen helps cattle grow faster, obtain larger REA, improve feed efficiency, GDP and improve carcass weight.

CONCLUSIONS

Heat stress mitigation strategies in beef cattle in intensive finishing under practical conditions should contribute to animal welfare and improve productivity indicators in the Mexican dry tropics. Heat stress mitigation strategies in beef cattle under intensive finishing directly contribute to productive indicators and animal welfare in the Mexican dry tropics.

REFERENCES

- 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* 40:7-22. DOI: 10.4067/S0301-732X2008000100002
- Beatty, D.T., Barnes, A., Taylor, E., Pethick, D., McCarthy, D.M. & Maloney, S.K. (2006). Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *Journal of Animal Science* 84:972–985. DOI: 10.2527/2006.844972x.
- Bernabucci, U., Lacerera, 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. DOI: 10.1017/S175173111000090X
- Blaine, K. L., & Nsahlai I. V. (2011). The effects of shade on performance, carcass classes and behaviour of heat-stressed feedlot cattle at the finisher phase. *Tropical Animal Health Production* 43:609-615. DOI: 10.1007/s11250-010-9740-x
- Broom, DM. (2003). Transport stress in cattle and sheep with details of physiological, ethological and other indicator. *Dtsch Tierärztl Wochenschr* 110:83-89.
- Broom, DM. (2005). The effects of land transport on animal welfare. *Revue Scientifique et Technique* 24(2):683-691.
- Brown-Brandl, T. M., Eigenberg R. A., & Nienaber J. A. (2013). Benefits of providing shade to feedlot cattle of different breeds. *Transactions of the ASABE*. 56(4):1563-1570. ISSN: 2151-0032
<https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=43976>
- 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. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2004.12.006
- Brown-Brandl, T. M., Nienaber J. A., Eigenberg R. A., Mader T. L., Morrow J. L., & Dailey J. W. (2006). Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livestock Science* 105:19-26. DOI: 10.1016/j.livsci.2006.04.012
- Castro-Pérez, B.I., Estrada-Angulo, A., Ríos-Rincón, F.G., Núñez-Benítez, V.H., Rivera-Méndez, C.R., Urías-Estrada, J.D., Zinn, R.A., Barreras, A., & Plascencia, A. (2020). The influence of shade allocation or total shade plus overhead fan on growth performance, efficiency of dietary energy utilization, and carcass characteristics of feedlot cattle under tropical ambient conditions. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 33 (6):1034-1041. Doi.org/10.5713/ajas.19.0112
- Cedeño, J. (2011). Efecto del estrés calórico en el bienestar animal, una revisión en tiempo de cambio climático. *Espamciencia*. 2:15-25. ISSN: 1390-8103
- CIAD. (2018). Sistema estadístico del clima automatizado de Sinaloa. <http://187.141.135.166/CIAD/DatosPorMes.aspx> (Consulta, enero 2018).
- FIRA. (2019). Panorama agroalimentario: carne de bovino 2019. Disponible en: <https://www.fira.gob.mx/InvYEvalEcon/EvaluacionIF>. (Consulta: 13 oct. 2020).
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México. ISBN: 970-32-1010-4.
- Gasque, G. R. (2008). Enciclopedia bovina. Editorial Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 437p. ISBN: 978-970-32-4359-4
- Gaughan, J. B., Bonner S., Loxton I., Mader T. L., Lisle A., & Lawrence R. (2010). Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *Journal of Animal Science* 88:4056-4067. DOI:10.2527/jas.2010-2987
- Gaughan, J. B., & Mader T. L. (2014). Body temperature and respiratory dynamics in un-shade beef cattle. *International Journal of Biometeorology*. 58:1443-1450. DOI 10.1007/s00484-013-0746-8
- Gaughan, J. B., Mader, T. L., Holt, S. M., & Lisle, A. (2008). A new heat index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 86:226-234. DOI: 10.2527/jas.2007-0305
- Ha, J. J., Yang K. L., Oh D. Y., Yi J. K., & Kim J. J. (2018). Rearing characteristics of fattening Hanwoo steers managed in different stocking densities. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 31:1714-1720. DOI: doi.org/10.5713/ajas.17.0451
- Hall, M. (2000). Meet the challenges of heat stress feeding. *Howard's dairyman*. May. 2000. pp. 344.
- Lagos, G. H., González G. F. J., & Castillo R. F. (2014). Paquete tecnológico para la engorda de ganado bovino en corral. Recuperado: <http://biblioteca.inifap.gob.mx>
- LCI. (1970). Patterns of transit losses. *Livestock Conservation, Inc.*, Omaha, NE.
- Lee, S. M., Kim J. Y., & Kim E. J. (2012). Effects of stocking density or group size on intake, growth, and meat quality of Hanwoo steers (*Bos taurus coreanae*). *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 25(11):1553-1558. DOI: 10.5713/ajas.2012.12254
- Lees, A.M., Sejian, V., Wallage, A.L., Steel, C.C., Mader, T.L., Lees, J.C., & John B. Gaughan, J.B. (2019). The impact of heat load on cattle: review. *Animals*. 9(6):322. DOI: 10.3390/ani9060322

- Mader, T.L., Davis, M.S., & Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 84:712-719. DOI: 10.2527/2006.843712x
- Mader, T., & Colgan S. L. (2007). Pen density and straw bedding during feedlot finishing. *Nebraska Beef Cattle Reports*. University of Nebraska-Lincoln. <https://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/70/>
- Magaña, M.M.A., Leyva, M.C.E., Solís, A.J.F. & Leyva, P.C.G. (2020). Indicadores de competitividad de la carne bovina de México en el mercado mundial. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 11:669-685. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i3.5798>
- Malafaia, P., Barbosa J. D., Tokarnia C. H., & Oliveira C. M. C. (2011). Distúrbios comportamentais em ruminantes não associados a doenças: origem, significado e importancia. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 31(9):781-790. DOI: 10.1590/S0100-736X2011000900010
- Méndez, M. R. D., Schunemann A. A., Rubio L. M. S., & Braña V. D. (2013). Bienestar animal para operarios en rastro de bovinos. INIFAP. Querétaro. 58 p. ISBN: 978-607-37-0091-7
- Mitlöhner, F. M., Morrow J. L., Dailey J. W., Wilson S. C., Galyean M. L., Miller M. F., & McGlone J. J. (2001). Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 79:2327-2335. DOI: 10.2527 / 2001.7992327x
- Mitlöhner, F. M., Galyean M. L., & McGlone J. J. (2002). Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers. *Journal of Animal Science* 80:2043-2050. DOI: 10.2527 / 2002.8082043x
- Morais, D. A. E. F., Maia A. S. C., Silva R. G., Vasconcelos A. M., Oliveira L. P., & Guilhermino M. M. (2008). Variação anual de hormônios tireoideanos e características termorreguladoras de vacas leiteiras em ambiente quente. *Revista Brasileira Zootecnia* 37(3): 538-545. DOI: 10.1590/S1516-35982008000300020.
- Mormède, P., Andanson, S., Aupérin, B., Beerda, B., Guémené, D., Malmkvist, J., Manteca, X., Manteuffel, G., Prunet, P., Van Reenen, C., Richard, S., & Veissier, I. (2007). Exploration of the hypothalamic-pituitary-adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. *Physiology and Behavior* 92:317-339. DOI: 10.1016/j.physbeh.2006.12.003.
- Muñoz, J., Gómez, A., Rojas, C., Orjuela, J., & Valencia, A. (2013). Determinación de la incidencia de estrés calórico en número de nacimientos en bovinos doble propósito del departamento de caqueta. *REDVET*. 14:Nº7. ISSN: 1695-7504.
- O'Brien, M. D., Rhoads, R. P., Sanders, S. R., Duff, G. C., & Baumgard, L. H. (2010). Metabolic adaptations to heat stress in growing cattle. *Domestic Animal Endocrinology* 38:86-94. DOI: 10.1016/j.domaniend.2009.08.005.
- Olivares, B. O., Guevara, E., Oliveros, Y., & López, L. (2013). Aplicación del índice de confort térmico como estimador del estrés calórico en la producción pecuaria de la esa de Guanipa, Anzoátegui, Venezuela. *Zootecnia Tropical* 31:209-223. ISSN: 0798-7269 http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692008000400013.
- Pereyra, A. V. G., Maldonado, M. V., Catracchia, C. G., Herrero, M. A., Flores, M. C., & Mazzini, M. (2010). Influence of water temperature and heat stress on drinking

- water intake in dairy cows. *Chilean Journal of Agricultura Research*. 70:328-336. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3748274>.
- Renaudeau, D., Collin A., Yahav S., Basilio V., Gourdine J. L., & Collier R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal* 6(5):707-728. DOI: 10.1017/S1751731111002448.
- Rubio, M. S., Braña, D., Méndez, R. D. & Delgado, E. (2013). Sistemas de producción y calidad de carne bovina. Folleto técnico No. 28. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP. Ajuchitlán. Colón. Querétaro. Folleto técnico No. 28. P: 4-56.
- SADER-SIAP. (2019). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Producción ganadera. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>
- Sanmiguel, P. R. A., & Ávila, V. D. (2011). Mecanismos fisiológicos de la termorregulación en animales de producción. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 4(1):88-94. Recuperado: <http://revistas.ut.edu.co/index.php/CIENCIANIMAL/article/view/148>
- Sullivan, M. L., Cawdell-Smith, A. J., Mader, T. L., & Gaughan, J. B. (2011). Effect of shade area on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 89:2911-2925. DOI: 10.2527/jas.2010-3152
- Thom, E.C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise* 12:57-59. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- Valente, É. E. L., Chizzotti M. L., Ribeiro O. C. V., Castlho G. M., Domingues S. S., Castro R. A., & Machado L. M. (2015). Intake, physiological parameters and behavior of Angus and Nellore bulls subjected to heat stress. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*. 36(6):4565-4574. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n6Supl2p4565
- WMO. (2010). Guide to agricultural meteorological practices. World Meteorological Organization. Disponible en: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/gamp/documents/WMO_No134_en.pdf Fecha de acceso: 16/feb/2017

CAPÍTULO 3: VALORACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO DE BOVINOS PRODUCTORES DE CARNE EN FINALIZACIÓN INTENSIVA EN CLIMA CÁLIDO

ARTÍCULO 2

Evaluation of the thermal comfort of beef cattle in feedlot in hot weather

Citlaly Zazueta G.¹, Isabel Castro P.¹, Alfredo Estrada-Angulo¹, Jesús Portillo L.¹, David Urías E.¹, Francisco Ríos R.^{1,2}

RESUMEN

Se valoró el confort térmico de ganado bovino productor de carne en finalización intensiva, mediante la disponibilidad de sombra y espacio vital, en condiciones de clima semi seco muy cálido de la región costera del noroeste de México durante el otoño y el invierno y alojados en tres tipos de corral. El diseño de los corrales varió de acuerdo con la infraestructura disponible en la unidad de producción pecuaria (área de corral y sombra por animal). El periodo de observación fue de seis semanas por época. Se registró la temperatura ambiente y la humedad relativa diaria y se calculó el Índice de Temperatura y Humedad (ITH). Se midió el área de cada corral, el área de sombra y el número de bovinos por corral para calcular el espacio vital y la sombra disponible al inicio y al final del periodo de engorde. En otoño, el ganado se encontró en estado de Peligro a Emergencia térmica (ITH >84 unidades) y en el invierno en estado de Alerta térmica (ITH >70). La provisión de espacio vital y de sombra fue insuficiente en ambas épocas y periodos de engorda de acuerdo con indicadores para la especie bovina productora de carne en confinamiento, independientemente del diseño del corral. **Palabras clave:** bovinos de carne, bienestar animal, ambiente térmico, instalaciones pecuarias.

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa, México

² E-mail: fgrios@uas.edu.mx

ABSTRACT

The thermal comfort of beef cattle in intensive finishing was assessed through the availability of shade and living space, in conditions of the very hot semi-dry climate of the northwestern coastal region of Mexico during autumn and winter and housed in three types of pens. The design of the pens varied according to the infrastructure available in the livestock production unit (pen area and shade per animal). The observation period was six weeks per season. The daily ambient temperature and relative humidity were measured, and the Temperature and Humidity Index (ITH) was calculated. The area of each pen, the shade area, and the number of cattle per pen were measured to calculate the living space and the shade available at the beginning and at the end of the fattening period. In autumn, the cattle were in a state of Danger to Emergency Thermal (ITH >84 units) and in the winter in a state of Thermal Alert (ITH >70). The provision of living space and shade was insufficient in both seasons and periods according to indicators for confined meat-producing cattle, regardless of the pen design.

Key words: beef cattle, animal welfare, thermal environment, livestock facilities.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de proteína de origen animal intensifica el sistema de producción de carne bovina (Thornton, 2010), a costa de la disminución del espacio vital y del incremento de la densidad en los corrales de engorda, que limita la capacidad de los bovinos para expresar comportamientos naturales, a la vez que aumenta la incidencia de agresiones entre ellos (Lees *et al.*, 2019; Romo-Valdez *et al.*, 2019). De otra parte, la percepción de los consumidores acerca de las prácticas de producción y su impacto en la pérdida de bienestar de los animales influye en el desarrollo de esta actividad (Tucker *et al.*, 2015).

De acuerdo con los principios del bien-estar animal, el diseño de las instalaciones pecuarias debe minimizar el estrés y la tensión social, toda vez que la conducta y la organización social de los bovinos pueden ser afectadas por las condiciones de alojamiento y la disponibilidad de espacio vital (Huzzey *et al.*, 2006; Gaughan *et al.*, 2008). A la modificación del ambiente natural en los corrales de engorda, se suman

condiciones climáticas adversas que inducen el estrés por calor que se asocia con la reducción de la productividad y pérdida de bienestar de los bovinos, principalmente durante los meses de verano (Lees *et al.*, 2019), o cuando se intensifican las lluvias (Grandin, 2016). El estado de confort térmico de los bovinos se altera cuando la combinación de factores climáticos es desfavorable, por ello la recomendación del uso de sombras que ayuden a mitigar el efecto de la temperatura ambiental mayor de 25 °C y el efecto de la humedad relativa superior a 40% (Mader *et al.*, 2007; Arias *et al.*, 2008). Se ha demostrado que proporcionar 2 m²/animal de sombra mejora el bienestar y el rendimiento del ganado bovino (Sullivan *et al.*, 2011). Castro-Pérez *et al.* (2020) determinaron que aumentar el espacio de sombra en el corral de engorda incrementa los indicadores productivos; asimismo, Ha *et al.* (2018) afirman que el aumento en el espacio vital puede representar mejoras en el bienestar de los bovinos, ya que favorece que manifiesten su comportamiento natural, aumentan su conducta social y disminuyen las expresiones agonistas.

Aunque los bovinos tienen la capacidad para adaptarse a las condiciones medioambientales, hay épocas del año en las que están expuestos al estrés por calor, o por las llamadas ondas de calor, que implican periodos de calor y humedad relativa inconfortable por periodos cortos o prolongados (Brown-Brandl *et al.*, 2006), ya sea debido a la oscilación de la temperatura ambiental, o bien cuando diversos factores se combinan generalmente durante un corto periodo de tiempo (Arias *et al.*, 2008). El efecto de las condiciones ambientales en la respuesta productiva, parámetros fisiológicos y en los indicadores de bienestar durante el verano ha sido ampliamente reportado (Bernabucci *et al.*, 2010; Gaughan *et al.*, 2010; Brown-Brandl *et al.*, 2017; Ratnakaran *et al.*, 2017). De igual manera, se ha demostrado el mayor impacto del estrés por calor durante el verano en el bienestar del ganado bovino (Brown-Brandl y Jones, 2007; Gaughan *et al.*, 2008; Mader *et al.*, 2010; Lima *et al.*, 2020); sin embargo, esta situación puede persistir a lo largo del año en regiones tropicales. Con base a esto, el objetivo del presente trabajo fue valorar el confort térmico de ganado bovino productor de carne en finalización intensiva mediante la disponibilidad de sombra y

espacio vital en condiciones de clima semiseco muy cálido durante el otoño y el invierno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y Tipo de Estudio

El estudio se llevó a cabo en una Unidad de Producción Pecuaria (UPP) localizada en la zona costera central del estado de Sinaloa, México. El clima de la región (BS1(h)w(w)e, se define como semiseco muy cálido, extremoso con lluvias en verano, con temperatura media anual de 25.9 °C, mínima promedio de 10.5 °C y máxima promedio de 36 °C, y humedad relativa promedio anual de 68 % (Estación Climatológica, EB-UAS, 2020).

El estudio fue de tipo observacional prospectivo (Manterola y Otzen, 2014), y se realizó durante seis semanas, a partir de la tercera a la octava semana del otoño y durante seis semanas a partir de la tercera a la octava semana del invierno. En cada época se realizaron visitas diarias a seis corrales de finalización intensiva elegidos por conveniencia con base a una programación aleatorizada. Las observaciones fueron registradas por una sola persona.

Variables Climáticas

La temperatura ambiental y la humedad relativa fueron registrados mediante termohigrómetros digitales (Avaly Taylor VA-EDT-1-55^a, CDMX) colocados dentro de cada corral objeto de estudio. El índice de temperatura y humedad fue calculado usando la fórmula: $ITH = (0.8 \times T) + [(HR/100) \times (T - 1.4)] + 46.4$ (Mader *et al.*, 2006), donde T es la temperatura ambiental en grados Celsius y HR es la humedad relativa expresada en porcentaje.

Instalaciones

En la UPP se engorda anualmente un promedio de 47 967 cabezas de ganado bovino en 2.2 ciclos. La infraestructura conste de 202 corrales para producción distribuidos en ocho secciones, 29 corrales de reciba y tres de enfermería. Los bovinos se alojaron en

corrales convencionales para la engorda y finalización, contruidos con similitud de materiales: tubería metálica de 1.60 m de altura, piso de tierra, sombra provista a base de material metálico colocada a 3.0 m de altura, bebedero automático de acero inoxidable compartido por dos corrales y banquetta de 2 m de ancho en el área de comedero lineal. Las características particulares de los corrales se muestran en el Cuadro 1. Para propósitos de la investigación, los corrales se identificaron mediante la siguiente nomenclatura: Diseño 1 (DC1), Diseño 2 (DC2) y Diseño 3 (DC3), que corresponden a las secciones 8, 1 y 3, respectivamente. De cada

Cuadro 1. Características de los corrales de finalización intensiva en la Unidad de Producción Pecuaria conforme al diseño específico (Sinaloa, México)

Características	Diseño de corral 1 (DC1)	Diseño de corral 2 (DC2)	Diseño de corral 3 (DC3)
Superficie disponible, m ²	1620	1200	1080
Área de sombra, m ²	360	171	180
Altura de la sombra, m	3.0	3.0	3.0
Tipo de sombra	Metálica	Metálica	Metálica
Orientación de la sombra	E a O	N a S	E a O
Comedero disponible, m	56	30	36
Bebedero disponible, m	6.10	6.10	6.10

una de estas secciones, se seleccionaron los mismos dos corrales para cada época objeto de estudio.

Animales

Los bovinos del estudio presentaban las características típicas de los corrales de engorda tecnificada en el norte de México: machos sin castrar, con un componente genético de aproximadamente 60 % *Bos indicus* en cruzamiento con *Bos taurus*, principalmente de las razas Pardo Suizo Americano, Pardo Suizo Europeo, Beef master, Charolais y Angus, en proporciones no determinadas. Dependiendo de la capacidad del corral y una vez que se han realizado todas las prácticas profilácticas, este se cierra de dos a tres días posteriores al arribo del ganado.

El protocolo de manejo y alimentación de los bovinos fue el que comúnmente se sigue en las engordas tecnificadas de la zona. El manejo consiste en vacunación,

desparasitación y colocación de implantes (acetato de trembolona, estradiol y tilosina). El alimento se proporciona dos veces al día de acuerdo con un programa de seis dietas que básicamente incluyen maíz hojuelado, pajade maíz, pasta de soya, granos secos de destilería, melaza y premezcla mineral. Las mediciones se realizaron en los corrales que se encontraban en la etapa de finalización y que coincide con el inicio del suministro de la dieta cuatro de las seis que integran el programa de alimentación.

Procedimiento

En los corrales de engorda se midió la superficie del corral, orientación y altura de la sombra, longitud de bebedero y comedero, y se registró el tipo de diseño. Al inicio y al final del periodo de engorda se registró el número y peso de los bovinos por corral, así como el espacio vital. Para esto último, se dividió el área de la superficie del corral (m^2) entre el número de bovinos alojados en el corral. El espacio de sombra disponible se calculó dividiendo la superficie total de sombra (m^2) entre el número de bovinos en el corral. Estos resultados fueron contrastados con las especificaciones de espacio vital y de sombra disponible para bovinos productores de carne en finalización intensiva propuestos por Lagos *et al.* (2014).

Análisis Estadístico

El corral de engorda fue la unidad de observación. Para los valores de temperatura, humedad relativa e ITH se calculó la media, valores mínimos y máximos por semana de observación y el periodo general. Los valores de ITH fueron transformados a rangos con el procedimiento RANK (SAS, 2002), debido a que las varianzas de los datos de la combinación periodo, diseño y hora fueron heterogéneas. Se realizó análisis de la varianza de los rangos de ITH con el modelo lineal general que incluyó los efectos de periodo del año (otoño, invierno), diseño de corral (DC1, DC2, DC3), hora de medición (8, 12, 16 h), así como, las interacciones de primer y segundo orden. Se obtuvieron las medias de cuadrados mínimos (opción LSMEANS en Proc GLM de SAS) y la comparación de puntuaciones de rangos se realizó con la prueba de Dunn (Bonferroni) (SAS, 2002). El valor de alfa máximo para considerar diferencia

estadística fue de 0.05. Los resultados se muestran como promedios y error estándar y gráficas de interacción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones Climáticas Generales

Las condiciones climáticas de los corrales de engorda se referenciaron con la información provista por el Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, s.f.), cuyos resultados mostraron que en otoño la temperatura máxima fue de 32.8 °C, la mínima de 18.2 °C, humedad relativa de 71 % e ITH máximo de 86 unidades, mientras que en invierno la temperatura máxima fue de 28.3 °C, mínima de 22.2 °C, humedad relativa 71 % e ITH máximo de 79 unidades.

Estación de Otoño

En el Cuadro 2 se presentan los promedios de la temperatura ambiental, humedad relativa e índice de temperatura y humedad en los corrales de finalización intensiva durante el otoño. El promedio general del ITH fue de 80.5 y el promedio máximo de 87.9, por lo que se considera el ganado bovino se encontró bajo estas condiciones en un estado de Peligro a Emergencia térmica (ITH >84 unidades), conforme a las categorías de estrés térmico establecido por Nienaber y Hahn (2007). Al respecto, el ITH se considera como un indicador de la carga térmica en el ganado bovino productor de carne en confinamiento intensivo (Gaughan *et al.*, 2008). Estos resultados muestran que se está comprometiendo el estado de confort térmico del ganado bovino. Según Renaudeau *et al.* (2012), los animales sufren inconvenientes debido a la pérdida del balance térmico, pudiéndose afectar la función productiva. En este sentido, Gaughan *et al.* (2003) sugieren el uso del índice de carga de calor acumulado (HLI-horas) para proporcionar una mejor guía del estado térmico del ganado en las condiciones ambientales del lugar en un momento específico del día.

Se ha establecido que los bovinos tienen un mejor desempeño en una zona termoneutral de 20 °C (10-26 °C); sin embargo, cuando la temperatura ambiental excede los 27 °C y, especialmente, si la humedad relativa es mayor a 40 %, se rompe

el equilibrio de la zona termo neutral debido a la condición homeoterma de los bovinos, por lo que en tal situación se pierde el bienestar y se reduce el potencial productivo. Bajo estas condiciones climáticas, el bovino aumenta la sudoración y la tasa de respiración hasta llegar al jadeo, mediante las cuales libera calor a través de la evaporación (Mader et al., 2006; Arias *et al.*, 2008). A diferencia de la temperatura,

Cuadro 2. Promedio de la temperatura ambiental, humedad relativa e índice de temperatura y humedad en los corrales de finalización intensiva en el otoño (Sinaloa, México)

Semana	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)			ITH		
	Mín.	Máx.	Media	Mín.	Máx.	Media	Mín.	Máx.	Media
1	27.3	43.1	35.0	17	70	34.9	72.3	88.1	81.6
2	26.1	40.8	33.4	21	72	34.7	70.6	88.9	80.1
3	26.1	43.7	35.5	20	64	30.1	70.6	88.2	81.3
4	28.0	45.0	36.1	20	49	25.4	71.8	94.8	81.0
5	29.8	39.7	34.9	19	41	24.4	74.1	83.6	79.6
6	29.0	38.2	33.5	18	65	30.9	73.4	83.9	79.3
General	27.7	41.7	34.7	19	60	30.0	72.1	87.9	80.5

ITH: Índice de temperatura y humedad. Mín.: Mínimo, Máx.: Máximo

que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar lentamente, así es que, aunque la temperatura baje por la noche, en un día húmedo, generalmente la noche es húmeda. En este sentido, el valor de la humedad relativa máxima, particularmente en esta región costera del noroeste de México disminuye rápidamente, de 95% a fines del verano a 58% a principios de otoño, hasta llegar a 14% en noviembre. Considerando lo anterior, el periodo más húmedo del año en esta región dura 6.1 meses (14 de mayo al 17 de noviembre), y durante ese tiempo el nivel de confort se considera bochornoso, opresivo o insoportable por lo menos durante el 27% del tiempo (Estación climatológica, Escuela de Biología UAS, 2020).

Los resultados de disponibilidad de espacio vital y sombra en los corrales de finalización de ganado bovino al inicio y al final de la engorda se muestran en el Cuadro 3. El espacio vital en la etapa inicial de la engorda en los corrales DC1 fue superior en 8% al recomendado, pero inferior en 29 y 28 % para corrales DC2 y DC3, en tanto que en la etapa final de la engorda fue de 25, 34 y 41% inferior al espacio vital recomendado en los corrales DC1, DC2 y DC3, respectivamente. El espacio vital

recomendado para bovinos menores de 300 kg es de 15 m² y para bovinos de 400 kg en adelante es de 20 m² (Lagos *et al.*, 2014).

Estos resultados demuestran que el manejo del espacio vital en la UPP no está predefinido; es decir, no se tiene en consideración la capacidad del corral de engorda en función de las necesidades de espacio vital de los bovinos ni en la etapa inicial ni en la etapa de finalización, independientemente de la estación del año. A este respecto, existe una tendencia mundial de reducir el espacio vital en corrales de bovinos de finalización intensiva con la finalidad de incrementar la rentabilidad de la unidad de producción; sin embargo, la reducción del espacio vital afecta el comportamiento animal y afecta al bien-estar de los bovinos (Macitelli *et al.*, 2020).

El mínimo de sombra recomendado para bovinos productores de carne en confinamiento es de 3.7 m² (Lagos *et al.*, 2014), sien-do que los resultados de disponibilidad de sombra en la etapa inicial de la engorda fue

Cuadro 3. Disponibilidad de espacio vital y sombra de acuerdo con el diseño de corral¹ de finalización de ganado bovino, al inicio y final de la engorda en la época de otoño (Sinaloa, México)

Característica	Etapa inicial			Etapa final		
	DC1	DC2	DC3	DC1	DC2	DC3
Número de bovinos	100	112	100	108	91	91
Peso vivo, kg	270±6.1	269.5±35.4	301±33.0	491±18.7	479.5±14.6	498±8.9
Espacio vital/bovino, m ²	16.2	10.71	10.80	15	13.18	11.86
Diferencia espacio vital, m ²	1.2	-4.29	-4.20	-5.0	-6.81	-8.13
Sombra disponible/bovino, m ²	3.6	1.52	1.8	3.30	1.87	1.97
Diferencia sombra disponible ² , m ²	-0.1	-1.97	-1.7	-0.20	-1.62	-1.52

DC1: diseño de corral 1; DC2: diseño de corral 2; DC3: diseño de corral 3

¹ Dos corrales por cada tipo de corral y en cada estación

² Diferencia de sombra disponible con respecto a 3.7 m²/cabeza (Lagos *et al.*, 2014)

2.7, 53.2 y 45.9 % inferior a dichas recomendaciones en los corrales DC1, DC2 y DC3, respectivamente. Sullivan *et al.* (2011) observaron mejora en los indicadores de bienestar en el ganado bovino al proporcionar sombra a razón de 3.3 vs 2.0 m²/cabeza.

En la etapa final de la engorda, la sombra disponible es 65 % mayor en los corrales DC1, 6.5 % menor en los corrales DC2 y 24 % menor en los corrales DC3. Al respecto, Hahn (1985) refiere que proporcionar entre 1.8 a 2.5 m² de sombra por cabeza puede ser causa de hacinamiento y no representa un valor adecuado para corrales de engorda en ambientes tropicales. Al respecto, si las condiciones en el corral de engorda son desfavorables; es decir, el espacio vital es menor para expresar su comportamiento social natural y de manera intuitiva otros comportamientos deseables, los bovinos pueden desarrollar comportamientos agresivos y anormales (Pelley *et al.*, 1995); y si a esto se le suma la deficiencia en la disponibilidad de sombra en condiciones ambientales adversas, los bovinos disminuyen el tiempo dedicado a consumir alimento y el que permanecen echados, aumenta el tiempo dedicado a beber agua y el que permanecen de pie cerca de los bebederos; también se pueden observar cambios en la distribución del ganado dentro de los corrales, pues tienden a permanecer más tiempo en lugares con mejor ventilación (Arias *et al.*, 2008).

En los casos donde el área de sombra no es suficiente para albergar a todos los bovinos en un corral, varios de ellos permanecerán desprotegidos y sometidos a estrés por calor. En estos casos es conveniente observar el comportamiento de los animales y registrar la distancia media entre ellos, lo cual puede ser de utilidad para la planificación de los corrales (Gomes da Silva, 2010).

Cuadro 4. Promedio de la temperatura ambiental, humedad relativa e índice de temperatura y humedad en los corrales de finalización intensiva en el invierno (Sinaloa, México)

Semana	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)			ITH		
	Mín.	Máx.	Media	Mín.	Máx.	Media	Mín.	Máx.	Media
1	11.8	32.1	26.4	25.5	72.2	31.8	60.4	78.2	71.3
2	7.9	32.9	27.3	23.5	75.0	28.7	55.3	80.6	71.9
3	7.0	37.7	28.6	21.5	80.4	30.4	67.4	81.0	73.7
4	7.1	38.5	26.3	21.0	83.7	39.0	66.1	78.8	72.2
5	7.1	38.0	30.3	21.0	83.4	26.5	69.2	79.1	75.1
6	7.1	38.5	25.8	21.0	83.7	35.8	67.5	75.1	71.2
General	8.1	36.2	27.4	22.3	79.5	32.0	64.3	78.8	72.5

ITH: Índice de temperatura y humedad. Mín.: Mínimo, Máx.: Máximo

Estación de Invierno

Los promedios de la temperatura ambiental, humedad relativa e índice de calor y humedad durante el invierno se muestran en el Cuadro 4. El valor promedio general del ITH excedió ligeramente las 72 unidades (72.5), por lo que de acuerdo con lo propuesto por Nienaber y Hahn (2007) el ganado bovino se encuentra en un estado de Alerta térmica (ITH >70).

Aunque existen otros factores que contribuyen a potenciar o disminuir el estrés calórico en el ganado bovino, los de mayor importancia son la velocidad del viento, la radiación solar, la temperatura ambiental y la humedad relativa (Arias *et al.*, 2008; Olivares *et al.*, 2013). No obstante, Gaughan *et al.* (2008) refieren que el ITH se considera como el indicador de la carga térmica más relevante para el ganado bovino.

De acuerdo con lo observado en el Cuadro 5 para la época de invierno, el espacio vital en la etapa inicial de la engorda fue de 10, 19 y 25% inferior al recomendado en los corrales DC1, DC2 y DC3, y en la etapa final de la engorda de 25, 33 y 38 % inferior en corrales DC1, DC2 y DC3, respectivamente. Estos cálculos se basan en el requerimiento de espacio vital recomendado por Lagos *et al.* (2014). La reducción del espacio vital en el corral de finalización trae consigo la disminución de las actividades habituales del ganado (Ha *et al.*, 2008) a medida que se incrementa el peso de los bovinos durante el transcurso de la engorda. En cambio, beneficios económicos y menor morbilidad se han registrado cuando se incrementa la disponibilidad de espacio vital (Montelli *et al.*, 2019); que en suma contribuye a la mejora de los indicadores de bienestar del ganado bovino en el corral de engorda.

Respecto a la sombra disponible por bovino, en la etapa inicial de la engorda el área disponible fue de 19, 54 y 51% inferior a las recomendaciones en los corrales DC1, DC2 y DC3, respectivamente, en tanto que en la etapa final fue de 8.1, 48 y 43 % en los corrales DC1, DC2 y DC3, respectivamente, considerando que el mínimo de sombra recomendado para bovinos productores de carne en confinamiento es de 3.7 m² (Lagos *et al.*, 2014). Blaine y Nsahlai (2011), en épo-

Cuadro 5. Disponibilidad de espacio vital y sombra de acuerdo con el diseño de corral de finalización de ganado bovino, al inicio y final de la engorda en la época de invierno (Sinaloa, México)

Característica	Etapa inicial			Etapa final		
	DC1	DC2	DC3	DC1	DC2	DC3
Número de bovinos	120	99	96	108	90	87
Peso vivo, kg	233.5±1	256±11.3	285.5±10.6	491±18.4	488±2.8	500.5±23.3
Espacio vital/bovino, m ²	13.5	12.1	11.2	14.9	13.3	12.4
Diferencia espacio vital, m ²	-1.5	-2.9	-3.8	-5.1	-6.7	-7.6
Sombra disponible/bovino, m ²	3.0	1.7	1.8	3.3	1.9	2.06
Diferencia sombra disponible ¹ , m ²	-0.7	-2.0	-1.9	-0.3	-1.8	-1.6

DC1: diseño de corral 1; DC2: diseño de corral 2; DC3: diseño de corral 3

¹ Diferencia de sombra disponible con respecto a 3.7 m²/cabeza (Lagos *et al.*, 2014)

ca de invierno, proporcionaron 2.87 m² de sombra por cabeza, proveniente de lámina de fierro corrugada, colocada a 5 m de altura y observaron mejora en los indicadores de bienestar de los bovinos. El estrés por calor es una preocupación importante para el bienestar animal porque reduce el rendimiento en el ganado bovino alojado en el corral de engorda durante la fase final del período de alimentación (Hagenmaier *et al.*, 2016).

El análisis de la varianza (Cuadro 6) indica variación del ITH por efecto de la estación del año y hora del día ($p < 0.01$), así como por la interacción diseño de corral x hora y estación x diseño de corral ($p < 0.01$); sin embargo, no muestra efecto del diseño del corral ($p > 0.05$).

El valor de ITH a las 08:00 es inferior ($p < 0.01$) al registrado a las 12:00 y a las 16:00 h (72.8 ± 0.31 vs 78.4 ± 0.30). En otoño el ITH fue superior en 7.8 unidades (80.4 ± 0.21 vs 72.6 ± 0.19), con respecto al invierno ($p < 0.01$). Los resultados confirman que los bovinos se encontraban en riesgo térmico, estando en otoño en la categoría de peligro térmico (ITH $>79 < 84$) y en invierno en la categoría de alerta térmica (ITH $>70 < 79$). La interacción diseño de corral x hora de observación (Figura 1) se debió

mayormente al diferente promedio de ITH a las 08:00. Es posible que la ubicación de los corrales favorezca ciertas condiciones de microclima. La interacción de estación del año x diseño de corral se debe a la intercepción que hay en las líneas de ITH para el DC2 y DC3 (Figura 2), efecto que se atribuye a la época del año, considerándose esta interacción un efecto fortuito.

Edwards-Callaway *et al.* (2021) afirman que el ganado bovino es susceptible a estrés por calor si no lo pueden disipar cuando se presentan temperaturas ambientales elevadas; asimismo, hacen referencia a diversos factores que impactan la susceptibilidad al estrés, muchos de los cuales se relacionan

Cuadro 6. Valor de ITH en corrales de bovinos en finalización intensiva según la estación del año, diseño del corral y hora del día (Sinaloa, México)

Hora	Estación	Diseño de corral			Hora- Estación	Hora
		DC1	DC2	DC3		
08:00	Otoño	78.4	74.3	76.7	76.5	72.8±0.31 ^b
	Invierno	70.3	68.0	68.8	69.0	
12:00	Otoño	82.3	83.3	82.6	82.7	78.8±0.29 ^a
	Invierno	74.3	75.2	74.8	74.8	
16:00	Otoño	81.7	82.7	81.7	82.0	78.0±0.31 ^a
	Invierno	73.5	74.7	73.9	74.0	
Estación	Otoño	80.8	80.1	80.3	80.4±0.21 ^A	
	Invierno	72.7	72.6	72.5	72.6±0.19 ^B	
Diseño de corral		76.8±0.31 ^a	76.4±0.38 ^a	76.4±0.34 ^a		
Probabilidad						
Estación del año				0.01		
Diseño de corral				0.22		
Hora del día				0.01		
Estación del año x Diseño de corral				0.01		
Estación del año x Hora del día				0.26		
Diseño de corral x Hora del día				0.01		
Estación del año x Diseño de corral x Hora del día				0.06		

^{a,b,c} Literales diferentes en columna indican diferencia estadística (p<0.05)

^{A,B} Literales diferentes en columna indican diferencia estadística (p<0.01)

n = 432 observaciones para cada estación, n=288 observaciones para cada diseño de corral x hora

con el sistema de producción; es decir, disponibilidad de la sombra, microclima del medio ambiente y la nutrición del ganado.

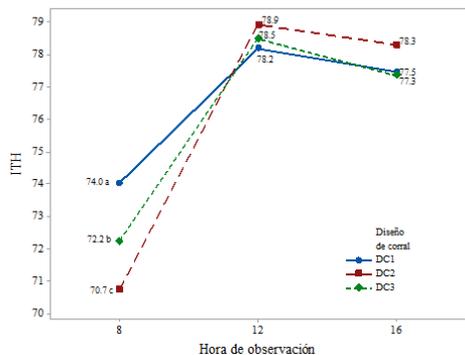


Figura 1. Efecto de la interacción Diseño del corral x Hora de observación en el valor del ITH en el corral de finalización de ganado bovino ($p < 0.01$)

El recuadro de Figura 2, quitar

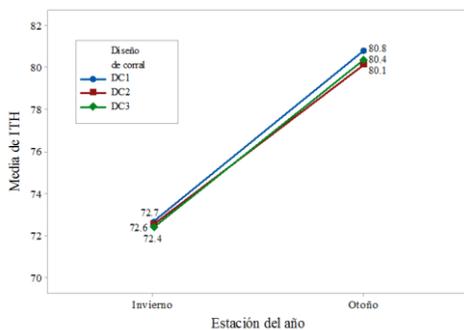


Figura 2. Efecto de la interacción Diseño del corral y Estación del año en el valor de ITH en el corral de finalización de ganado bovino ($p < 0.01$)

CONCLUSIONES

El confort térmico durante el otoño e invierno de los bovinos productores de carne bajo las condiciones ambientales en Sinaloa, México, determinado se encuentra comprometido.

Las limitaciones en espacio vital y disponibilidad de sombra no favorecen un ambiente térmico apropiado para el bienestar de los bovinos en el corral de engorda.

LITERATURA CITADA

1. Arias RA, Mader TL, Escobar PC. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bo-vino de carne y leche. Arch Med Vet 40:7-22. doi: 10.4067/S0301-732X2008-000100002.
2. Bernabucci V, Lacetera N, Baumgard LH, Rhoads RP, Ronchi B, Nardone A. 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. Animal 4: 1167-1183. doi:10.1017/S175173111000090X.
3. Blaine KL, Nsahlai IV. 2011. The effects of shade on performance, carcass classes and behaviour of heat-stressed feedlot cattle at the finisher phase. Trop Anim Health Prod 43: 609-615. doi: 10.1007/s11250-010-9740-x.
4. Brown-Brandl TM, Nienaber JA, Eigenberg RA, Mader TL, Morrow JL, Dailey JW. 2006. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. Livest Sci 105: 19-26. doi:10.1016/j.livsci.2006.04.012.
5. Brown-Brandl TM, Jones DD. 2007. Development and validation of an animal susceptibility Model. ASABE Annual International Meeting. Paper N° 074081. Minneapolis, Minnesota.
6. Brown-Brandl TM, Chitko-McKown CG, Eigenberg RA, Mayer JJ, Welsh Jr TH, Davis JD, Purswell JL. 2017. Physiological responses of feedlot heifers provided access to different level of shade. Animal 11: 1344-1353. doi:10.1017/S1751731116002664.
7. Castro-Pérez BI, Estrada-Angulo A, Ríos-Rincón FG, Núñez-Benítez VH, Rivera-Méndez CR, Urías-Estrada JD, Zinn RA, et al. 2020. The influence of shade allocation or total shade plus overhead fan on growth performance, efficiency of dietary energy utilization, and carcass characteristics of feedlot cattle under tropical ambient conditions. Asian Austral J Anim 33: 1034-1041. doi:10.5713/ajas.19.0112.
8. [CONAGUA] Comisión Nacional del Agua. s.f. Servicio Meteorológico Nacional. Normales climatológicas del Estado de Sinaloa. Periodo 1951-2010. [Internet]. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=sin>.

9. Edwards-Callaway LN, Cramer MC, Cadaret CM, Bigler EJ, Engle TE, Wagner JJ, Clark DL. 2021. Impact of shade on cattle well-being in the beef supply chain. *J Anim Sci* 1: 99:skaa375. doi: 10.1093/jas/skaa/375.
10. Estación Climatológica de la Escuelade Biología. Universidad Autónoma de Sinaloa. 2020. [Internet] [13 marzo2020]. Disponible en: <https://www.uas.edu.mx/servicios/clima/boletines>.
11. Gaughan J, Goopya J, Spark J. 2003. Excessive heat load index for feedlot cattle. Meat and Livestock Australia Ltd. North Sydney NSW.
12. Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Lisle A. 2008. A new heat index for feedlot cattle. *J Anim Sci* 86: 226-234. doi: 10.2527/jas.20070305.
13. Gaughan JB, Bonner S, Loxton I, Mader TL, Lisle A, Lawrence R. 2010. Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *J Anim Sci* 88: 4056-4067. doi: 10.2527/jas2010-2987.
14. Gomes da Silva R. 2010. Weather and climate and animal production. In: Guide to agricultural meteorological practices. World Meteorological Organization. No.134. Geneva, Switzerland.
15. Grandin T. 2016. Evaluation of the welfare of cattle housed in outdoor feedlot pens. *Vet Anim Sci* 1: 23-28. doi:10.1016/j.vas.2016.11.001
16. Ha JJ, Yang KL, Oh DY, Yi JK, Kim JJ. 2018. Rearing characteristics of fattening Hanwoo steers managed in different stocking densities. *Asian Austral J Anim* 31: 1714-1720. doi: 10.5713/ajas.17.0451
17. Hagenmaier JA, Reinhardt CD, Bartle SJ, Thomson DU. 2016. Effect of shade on animal welfare, growth performance and carcass characteristics in large pens of beef cattle fed a beta agonist in a commercial feedlot. *J Anim Sci* 94: 5064-8076. doi: 10.2527/jas2016-0935
18. Hahn GL. 1985. Management and housing of farm animals in hot environments. In: Stress physiology of livestock. Vol. 2, Yousef MK (ed). Boca Raton, USA: CRC Press. p 151-174.
19. Huzzey JM, DeVries TJ, Valois P, VonKeyserlingk MA. 2006. Stocking density and feed barrier design affect the feeding and social behavior of dairy cattle. *J Dairy Sci* 81: 126-133. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72075-6
20. Lagos GH, González FJ, Castillo FR. 2014. Paquete tecnológico para la engorda de ganado bovino en corral. México: INIFAP. 61 p.
21. Lees AM, Sejian, V, Wallage AL, Steel CC, Mader TL, Lees JC, Gaughan JB. 2019. The impact of heat load on cattle: review. *Animals* 9:3 22-341. doi:10.3390/ani9060322

22. Lima S, Bonvino SN, Pires BV., Bonilha SFM, Cyrillo NSG, Negrão JA, Paz CCP. 2020. Effect of hightemperature on physiological parameters of Nelore (*Bos taurus indicus*) andCaracu (*Bos taurus taurus*) cattlebreeds. *Trop Anim Health Prod* 52: 2233-2241. doi.org/10.1007/s11250-020-02249-y
23. Macitelli F, Braga JS, Gellatly D, Paranhos da Costa MJR. 2020. Reduced space in outdoor feedlotimpacts beef cattle welfare. *Animal* 14:2588-2597. doi: 10.1017/S175173112-0001652
24. Mader TL, Davis MS, Brown-BrandIT. 2006. Environmental factorsinfluencing heat stress in feedlot cattle. *J Anim Sci* 84: 712-719. doi: 10.2527/2006.843712x
25. Mader T, Griffin D, Hahn L. 2007.Managing feedlot heat stress. Instituteof Agriculture and Natural Resourcer. University of Nebraska-Lincoln. [Internet]. Available in: <http://exten-sionpublications.unl.edu/assets/html/g1409/build/g1409.htm>
26. Mader TL, Johnson LJ, Gaughan JB.2010. A comprehensive index forassessing environmental stress inanimals. *J Anim Sci* 88: 2153-2165. doi:10.2527/jas.2009-2586
27. Manterola C, Otzen T. 2014. Estudiosobservacionales. Los diseños utilizadoscon mayor frecuencia en investigaciónclínica. *Int J Morphol* 32: 634-645.
28. Montelli NLLL, Macitelli F, da SilvaBraga J, da Costa MJRP. 2019. Economic impacts of space allowanceper animal on beef cattle feedlot. *Semina: Ciências Agrárias* 40(Supl 3): 3665-3678.doi: 10.5433/1679-0359.2019v40n6-supl3p3665
29. Nienaber JA, Hahn GL. 2007. Livestock production system manage-ment responses to thermal challenges. *Int J Biometeorol* 52: 149-57. doi:10.1007/s00484-007-0103-x /217
30. Olivares BO, Guevara E, Oliveros Y, López L. 2013. Aplicación del índice deconfort térmico como estimador delestrés calórico en la producción pecua-ria de la Mesa de Guanipa, Anzoátegui, Venezuela. *Zootec Trop* 31: 209-223.
31. Pelley M, Lirette A, Tennessen T.1995. Observations on the responses offeedlot cattle to attempted environmental enrichment. *Can J Anim Sci* 75:631-632.doi: 10.4141/cjas95-093
32. Ratnakan AP, Sejian V, Sanjo Jose V, Vaswani S, Bagath M, Krishnan G, Beena V, et al. 2017. Behavioral respon-se to livestock adaptation to heat stresschallenges. A review. *Asian J Anim Sci*11: 1-13. doi: 10.3923/ajas.2017.1.13
33. Renaudeau D, Collin A, Yahav S, Basilio V, Gourdine JL, Collier RJ.2012. Adaptation to hot climate andstrategies to alleviate heat stress inlivestock production. *Animals* 6: 707-728.doi: 10.1017/S1751731111002448
34. Romo-Valdez A, Pérez-Linares C, Figueroa-Saavedra F, Portillo-LoeraJ, Ríos-Rincón F. 2019. Respuestaconductual de bovinos productores decarne en finalización intensiva en climadesértico cálido. *Abanico Vet* 9: 1-18. doi:10.21299/abavet2019.28

35. Sullivan ML, Cawdell-Smith AJ, Made TL, Gaughan JB. 2011. Effect of shade area on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. *J Anim Sci* 89: 2911-2925. doi: 10.2527/jas.2010-3152
36. Tucker CB, Coetzee JF, Stookey JM, Thompson DV, Grandin T, Schwartzkopf-Genswein KF. 2015. Beef cattle welfare in USA: identification of priorities for future research. *Anim Health Res Rev* 16: 107-124. doi: 10.1017/S1466-252315000171
37. Thornton PK. 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philos T R Soc A* 365: 2853-2867. doi: 10.1098/rstb.2010.0134

CAPÍTULO 4: EFECTO MEDIOAMBIENTAL Y DEL DISEÑO DE CORRAL EN COMPORTAMIENTO AGONISTA DE BOVINOS EN FINALIZACIÓN INTENSIVA

ARTÍCULO 3

Environmental effect and pen design on agonist behaviour of beef cattle in feedlot

Ana Citlaly Zazueta-Gutiérrez, Francisco Gerardo Ríos-Rincón*, Beatriz Isabel Castro-Pérez, Alfredo Estrada-Angulo and Jesús José Portillo-Loera

Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Blvd. San Ángel s/n, Fraccionamiento San Benito, Predio Las Coloradas, 80246. Culiacán, Sinaloa, México. Email: fgrios@uas.edu.mx *Corresponding autor

SUMMARY

Background. Environmental factors can affect the welfare of cattle in the feedlot and alter their behavior. **Objective.** The present study determine the effect of the feedlot environment on the agonist behavior of cattle during two seasons in a tropical region of Mexico. **Methodology.** A prospective observational study was conducted in pens identified as Type 1, Type 2 and Type 3. The agonist behaviour, environmental temperature, relative humidity and Temperature and Humidity Index (THI) were recorded at 8:00, 12:00 and 16:00 h. **Results.** In autumn, the variation in the threat rate (34 vs. 14; $P < 0.05$) and bumps (20 vs. 12, $P < 0.01$) is influenced by the THI value and the hour of day; at 8:00 the THI did not exceed 77 units, while at 12:00 and 16:00, it exceeded 82 units. In Flehmen's reaction, mounts and vocalizations influenced the hour and design of the pen ($P < 0.02$). In winter, the mounts (18 vs. 10) occurred when the THI value was 69 units ($P < 0.01$), and decreased when it increased to 74 units. The Flehmen's reaction was higher in Type 3 (14 vs. 7) than in Type 1 ($P < 0.01$). **Implications.** The agonist behavior of cattle, as measured in this work, should be considered as a measured of cattle welfare indicators in feedlots. **Conclusions.** The increase of THI and design of the pen influence the manifestation of agonist behavior in beef cattle. **Key words:** agonistic behaviour; bovidae; climatic factors; feedlots.

RESUMEN

Antecedentes. Factores ambientales pueden afectar el bienestar de los bovinos en el corral de engorda y alterar su comportamiento. **Objetivo.** El presente estudio determina el efecto del medio ambiente del corral de engorda sobre el comportamiento agonista de los bovinos durante dos épocas del año en una región tropical de México. **Metodología.** Se realizó un estudio observacional prospectivo en corrales identificados como Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3. El comportamiento agonista, temperatura ambiental, humedad relativa e Índice de Temperatura y Humedad (ITH) se registraron a las 8:00, 12:00 y 16:00 h. Con el número de bovinos que manifestaron conducta agonista por corral y hora del día, se calculó la tasa de indicadores agonistas y se realizó análisis de varianza; la comparación de medias para hora y diseño del corral, se realizó con la prueba de Dunn. **Resultados.** Durante el otoño, influyeron el ITH y hora del día en la variación de la tasa de amenazas (34 vs.14; $P<0.05$) y topetazos (20 vs.12; $P<0.01$). A las 8:00 h, el valor de ITH fue inferior a 77 unidades, mientras que a las 12:00 y 16:00 h, superó las 82 unidades. En reacción de Flehmen, montas y vocalizaciones, influyeron hora y diseño del corral ($P<0.02$). Durante el invierno, las montas ocurrieron cuando el ITH fue menor de 69 unidades ($P<0.01$), y disminuyeron cuando el ITH incrementó a 74 unidades (18 vs.10). La reacción de Flehmen fue mayor en Tipo 3 (14 vs. 7) que en Tipo 1 ($P<0.01$). **Implicaciones.** El comportamiento agonista, así como se midió en este trabajo, deberá ser considerado como una medida de los indicadores de bienestar de los bovinos en los corrales de engorda. **Conclusiones.** El incremento del ITH y el diseño del corral influyen en la manifestación de la conducta agonista en bovinos productores de carne en finalización intensiva. **Palabras clave:** conducta agonista; corral de engorda; factores climáticos; vacunos.

INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina productora de carne es una de las principales actividades del sector pecuario mexicano; en 2019 alcanzó un máximo histórico de dos millones de toneladas, lo que representa 2.4% más respecto a 2018; estimaciones preliminares prevén que en 2020 la producción nacional de carne de bovino sea de 2.1 millones de toneladas, que significa un incremento de 100 mil toneladas, 2.5% arriba de lo

registrado el año anterior (SADER-SIAP, 2019; CIMA-ASERCA, 2019). En contraparte, se prevé que la demanda mundial de carne aumentará 40% en los próximos 10 años (Berckmans, 2014), por lo que para afrontar la creciente demanda de proteína cárnica se ha orientado hacia la tecnificación de la producción pecuaria (Miranda de la Lama, 2013), y en el caso de la producción de carne bovina en el corral de engorda, con tal acción, se modifica el ambiente natural y persisten factores que inducen al estrés en los bovinos, a lo anterior se suma e impacta en el decremento de los indicadores productivos y de bienestar animal (Mota-Rojas *et al.*, 2016); además, los factores climáticos de mayor relevancia como la temperatura ambiente, humedad relativa, radiación solar directa o reflejada y el movimiento del aire, influyen directamente en la capacidad de los bovinos para mantenerse en su zona de confort térmico (Gaughan *et al.*, 2008). Para enfrentar situaciones ambientales desfavorables, el organismo del animal realiza modificaciones fisiológicas y conductuales, con ello se establecen condiciones de termo neutralidad, sobre todo en épocas del año en las que están mayormente expuestos a condiciones medioambientales adversas cuando diversos factores se combinan durante periodos cortos de tiempo (Arias *et al.*, 2008).

Independientemente del sistema de producción, ya sea en pastoreo o en confinamiento, el comportamiento del ganado bovino es determinado por tres aspectos: el instinto, las percepciones sensoriales y la experiencia; el primero se refiere al comportamiento naturalmente motivado, la percepción sensorial es aquella que resulta de la interacción con el ambiente y del cual derivan situaciones desarrolladas con la experiencia adquirida ya sea negativa o positiva (Sowell *et al.*, 2000); en este sentido, se ha observado en el ganado bovino un tipo de comportamiento instintivo en referencia a la dominancia social que existe cuando las expresiones conductuales de una animal son inhibidas o alteradas por la presencia o amenaza de otro animal, para de esta manera establecer dominancia jerárquica sobre otros individuos del mismo rebaño. Justamente por ello una de las formas de valorar el bienestar de los bovinos en el corral de engorda es a través del comportamiento agonista; esto se refiere a la conducta presente en un grupo en una situación de conflicto entre miembros de un grupo, y se manifiesta como amenaza, agresión, defensa, sumisión y evasión; este comportamiento es mayormente observado en

animales confinados destinados a la producción de carne o leche (Blackshaw, 2003, Stackhouse-Lawson *et al.*, 2015, Foris *et al.*, 2019). En algunos mamíferos, en el macho principalmente, se presenta una conducta sexual conocida como reacción de Flehmen, que se genera al oler la orina, heces, moco y/o la región de la vulva (Swaney y Kevene, 2009); pero en los corrales de engorda bovina donde solo coexisten machos, como ocurre en los corrales de engorda de bovinos en México, la reacción de Flehmen se produce al oler el prepucio o la orina de otros machos. Otra manifestación son las montas, que en bovinos evidencia el comportamiento homosexual, definido como una interacción sexual entre dos o más individuos del mismo sexo y puede ser casual o permanente (Poiani, 2010). Las vocalizaciones o mugidos son manifestaciones de malestar que los animales emiten mientras se les manipula o traslada; al respecto se demostró que la vocalización en los animales está relacionada con niveles altos de cortisol y las mediciones pueden ser utilizadas para monitorear objetivamente el manejo (Watts y Stokey, 2000). Sin ser un factor directo de perjuicio, las vocalizaciones actúan como indicadores del trato general que se le proporciona al bovino. En la expresión de la conducta agonista en bovinos puede influir el efecto medioambiental, así como el tipo de instalaciones para su confinamiento intensivo. De acuerdo con lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del medio ambiente en el corral de engorda sobre el comportamiento agonista relacionado con el bienestar de bovinos productores de carne en finalización intensiva durante el otoño e invierno en la región tropical seca del noroeste mexicano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en una Unidad de Producción Pecuaria ubicada en el valle de Culiacán, Sinaloa, México (24° 38' 58" N y 107°17' 10" O; 70 msnm); clima BS 1 (h')w(w)(e), el cual se define como semiseco, muy cálido, extremoso con lluvias en verano, la temperatura media anual de la región es de 25.9 °C, la temperatura mínima promedio es de 10.5 °C en el mes de enero y la máxima promedio puede ser mayor a 36°C durante los meses de mayo a julio (ECEB-UAS, 2020). Para el logro del objetivo, se condujo un estudio observacional prospectivo (Manterola y Otzen, 2014) en dos estaciones del año en el hemisferio norte: a) en otoño (promedios históricos de

temperatura ambiente 32.4°C, humedad relativa 58.3 %, e ITH 82.8 unidades) y, b) en invierno (promedios históricos de temperatura ambiente 26.2°C, humedad relativa 44.0 %, e ITH 72.6 unidades). En cada estación, durante seis semanas se realizaron visitas diarias a seis corrales de finalización (n=96 bovinos/corral), elegidos al azar e identificados mediante la siguiente nomenclatura de acuerdo con el diseño del corral: Tipo 1 (superficie: 1620 m²; 16.87 m²/cabeza; área de sombra: 360 m²); Tipo 2 (superficie: 1200 m²; 12.5 m²/cabeza; área de sombra: 171 m²) y Tipo 3 (superficie: 1080 m²; 11.25 m²/cabeza; área de sombra: 180m²). Los corrales son convencionales para la engorda y finalización de bovinos, construidos con similitud de materiales: tubería metálica de 1.60 m de altura, piso de tierra, sombra provista a base de material metálico colocada a 3.0 m de altura, bebedero automático de acero inoxidable compartido por dos corrales y banquetta de 2 m de ancho en el área de comedero lineal; otras características físicas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características físicas de los corrales de finalización intensiva conforme al diseño del corral de la Unidad de Producción Pecuaria.

Características	Diseño del corral		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Superficie, m ²	1620	1200	1080
Sombra disponible, m ²	360	171	180
Sombra disponible, %	22.22	14.25	16.66
Orientación de la sombra	E a O	N a S	E a O
Comedero disponible, m	56	30	36
Bebedero disponible, m	6.10	6.10	6.10

Los bovinos incluidos en el estudio presentaban las siguientes características: machos sin castrar, con un componente genético de aproximadamente 60% *Bos indicus* en cruzamiento con *Bos taurus*, principalmente de las razas Pardo Suizo Americano, Pardo Suizo Europeo, Beefmaster, Charolais y Angus, en proporciones no determinadas. El protocolo de manejo y alimentación de los bovinos fue el que comúnmente se sigue en las engordas tecnificadas de la zona norte de México. El manejo consiste en vacunación, desparasitación y colocación de implantes (acetato de trembolona, estradiol y tilosina). El alimento se proporciona dos veces al día de

acuerdo con un programa de seis dietas que básicamente incluyen grano de maíz hojuelado, paja de maíz, pasta de soya, granos secos de destilería, melaza y premezcla mineral.

La temperatura ambiental y la humedad relativa fueron registrados diariamente mediante termohigrómetros digitales (Avaly Taylor, Modelo VA-EDT-1-55, CDMX, México) colocados en el centro de cada corral de engorda objeto de estudio. El índice de calor y humedad fue calculado usando la fórmula: $JTI = (0.8 \times T) + [(100) \times (T - 1.4)] + 46.4$ (Mader et al., 2006), donde T es la temperatura ambiental en grados Celsius y HR es la humedad relativa expresada en porcentaje. Con los valores de ITH, se identificaron las categorías desarrolladas conforme al Índice de Seguridad Meteorológica para Ganado: Confort (<74 unidades), Alerta >74 ITH <79), Peligro (>79 ITH <84) y Emergencia (>84 unidades) (Brown-Brandl, 2018). Las condiciones ambientales de la región se corroboraron con las variables climáticas registradas en www.weather-atlas.com/es/mexico/culiacan-rosales-clima.

La evaluación de la conducta agonista se realizó durante tres horarios (8:00, 12:00 y 16:00 h); para visualizar a los bovinos se segmentó el área de observación en 4 puntos (áreas de mayor visibilidad). El tiempo de observación por segmento se estableció con base en el número de segmentos; en este caso el tiempo total de observación fue de 20 minutos, mediante un esquema de observación fijo y continuo. Se registró la frecuencia de los indicadores de la conducta agonista como: topetazos, amenazas, reacción de Flehmen, vocalización y montas, conforme a lo descrito en la Tabla 2, de acuerdo con el procedimiento referido en investigaciones previas (Marti *et al.*, 2015, Bolado et al., 2018).

Análisis estadístico

Con el número de bovinos por corral y hora del día que manifestaron conducta agonista, se calculó la tasa de indicadores agonistas. Para ello, se empleó la fórmula descrita por Daniel (2002):

$$\left(\frac{a}{a+b}\right)^k$$

Donde: a = La frecuencia con la cual se ha presentado el evento (indicador conductual, social o agonista). a + b = El número de bovinos en el corral durante el mismo periodo de tiempo (8 h, 12 h o 16 h). k = 100, 1000 o 10000.

Tabla 2. Definición de las conductas agonistas evaluadas.

Conducta	Definición
Montas	Se registró cuando un bovino saltó sobre el dorso de otro, apoyándose en sus extremidades posteriores.
Topetazos	Se registró cuando dos bovinos chocaron sus cabezas y se empujaron entre sí.
Amenazas	Se consideró cuando un torete agachó su cabeza, colocó una extremidad anterior hacia adelante y cambió la posición de otro torete.
Reacción de Flehmen	Se contabilizó cuando un torete levantó su labio superior después de oler la región genital de otros toretes.
Vocalización	Se registró cuando un torete emitió un sonido vocal propio de la especie; la intensidad y la modulación pueden variar.

Enseguida, se elaboraron histogramas por corral y hora de observación para apreciar la distribución de frecuencias de los valores de las tasas y ver la aproximación a la distribución de probabilidad normal. Los histogramas se elaboraron con el paquete Minitab 16.0 (Minitab, 2000). Posteriormente, se utilizó el procedimiento UNIVARIATE opción NORMAL de SAS (SAS, 2004), para calcular los estadísticos de prueba de Kolmogórov-Smirnov de las pruebas de hipótesis para verificar la aproximación a la distribución normal (prueba de normalidad); y con el procedimiento GLM de SAS (SAS, 2004) opción MEANS / HOVTEST se calculó el valor de la estadística ji cuadrada para la prueba de hipótesis de Bartlett para la homogeneidad de las varianzas entre la combinación diseño del corral y hora del día. Cuando no hubo normalidad y/o las varianzas no fueron homogéneas, se realizó el procedimiento descrito por Herrera y Barreras (2005), empleando el procedimiento RANK (SAS, 2004).

Para calcular rangos con las tasas, y a los rangos se les aplicó análisis de la varianza con el procedimiento GLM, declarando el modelo lineal general:

$$y_{ijk} = \mu + H_i + DC_j + HDC_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = Rangos de las tasas para el indicador de bienestar animal.

μ = La media general.

H_i = El efecto fijo de la i -ésima hora de observación.

DC_j = El efecto fijo del j -ésimo diseño del corral.

HDC_{ij} = La interacción de la j -ésima hora y el i -ésimo diseño del corral.

ε_{ijk} = El error aleatorio.

La comparación de medias para la hora y el diseño del corral se realizó con la prueba de Dunn (Bonferroni) (SAS, 2002). Se fijó 0.05 como valor máximo de alfa para aceptar diferencia estadística. Cuando el análisis de la varianza indicó efecto de interacción o solo efecto del efecto principal, la tasade los indicadores agonistas se muestran en gráficas elaboradas en Minitab 16.0 (Minitab, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3, se muestra un resumen de los valores promedio de las condiciones climáticas registradas durante el periodo de estudio en el área geográfica donde se ubica la Unidad de Producción Pecuaria.

Si bien en el promedio de los valores de la temperatura máxima y mínima se observa disminución a principios de otoño, el valor promedio de la humedad relativa máxima en esta región costera del noroeste de México se mantiene durante la temporada; lo anterior ocasiona que el valor máximo del índice de temperatura y humedad se mantenga entre las 88 y 78 unidades. Es evidente que, al disminuir la intensidad solar, esto se refleja en la reducción del índice de radiación ultravioleta. Beretta *et al.* (2013), refieren que los factores ambientales tales como la radiación solar, con temperaturas superiores a la zona de confort térmico para el ganado bovino en finalización (15a 25 °C) combinados con la alta humedad relativa (superior al 40 %), generan un incremento de la carga calórica para el organismo animal que resulta en una reducción de sus indicadores productivos y de su comportamiento conductual.

Tabla 3. Resumen de los valores promedio de variables climáticas registradas durante el periodo de estudio.

Temporada	Mes	T °C Max	T °C Min	HR, %	ITH Max	ITH Min	UV	Horas Luz	Horas sol
Otoño	Septiembre	34.4	23.6	75	88.9	72.2	11	12.3	6.5
	Octubre	34.2	20.7	72	88.0	67.5	9	11.6	7.4
	Noviembre	31.5	15.6	71	83.7	59.7	6	10.9	7.1
Invierno	Diciembre	28.2	12.2	72	78.9	54.6	5	10.6	5.9
	Enero	27.8	10.9	72	78.3	52.6	5	10.8	6.1
	Febrero	28.9	11.3	70	79.7	53.3	7	11.4	6.7

T: temperatura ambiental en grados Celsius; HR: humedad relativa en porcentaje; ITH: índice de temperatura y humedad; UV: radiación ultravioleta. Fuente: www.weather-atlas.com/es/mexico/culiacan-rosales-clima

Otoño

En la Tabla 4 se presentan los valores promedio de ITH registrados por hora del día en cada tipo de corral de finalización intensiva de bovinos. En el presente estudio, se observó que en la expresión del ITH hay efecto de hora del día y de diseño del corral.

Al respecto, Gaughan *et al.* (2008) consideran al ITH como un indicador de la carga térmica en el ganado bovino productor de carne en confinamiento intensivo; Beatty *et al.* (2006), afirman que durante continua y prolongada exposición a condiciones de extremo calor y humedad, el ganado *Bos indicus* mostró cambios fisiológicos menos pronunciados que el ganado *Bos taurus*, sin embargo, el consumo de agua se incrementó en ambos grupos raciales; bajo estas condiciones climáticas Renaudeau *et al.* (2012) refieren que el ganado bovino modifica su frecuencia respiratoria, de esta manera reduce su tasa metabólica para producción de calor.

En las figuras 1A, 1B, 1C y 1D, se muestran los resultados correspondientes al comportamiento agonista expresado en tasa de amenazas y topetazos, conforme a la hora del día y al diseño del corral. Se observó que la variación en la tasa de amenazas y de topetazos está mayormente influenciada por la condición ambiental a su vez determinada por el valor del ITH y la hora del día; en el periodo de estudio se observó que a las 8:00 h el ITH se halla en la categoría de Alerta (77 unidades), mientras a las 12:00 y 16:00 h, el ITH se encuentra en la categoría de Peligro (82 unidades).

En relación al diseño del corral de engorda con la tasa de amenazas y de topetazos, la mayor expresión de amenazas ocurre en los corrales Tipo 2, mientras que la mayor tasa de topetazos ocurre

Tabla 4. Valores promedio de índice de temperatura y humedad relativa (ITH) registrados durante el otoño por hora y diseño de corral de finalización intensiva de bovinos de productores de carne; y valor de probabilidad para hora y diseño de corral

Hora	Diseño de corral	ITH
8:00	Tipo 1	78.5
	Tipo 2	74.3
	Tipo 3	76.7
12:00	Tipo 1	82.3
	Tipo 2	83.3
	Tipo 3	83.6
16:00	Tipo 1	81.7
	Tipo 2	82.7
	Tipo 3	81.7
EEM ¹		0.44
Fuente de variación:		Valor de P
Hora		0.01
Diseño de corral		0.11
Hora x Diseño de corral		0.01

¹ Error Estándar de la Media (n=40)

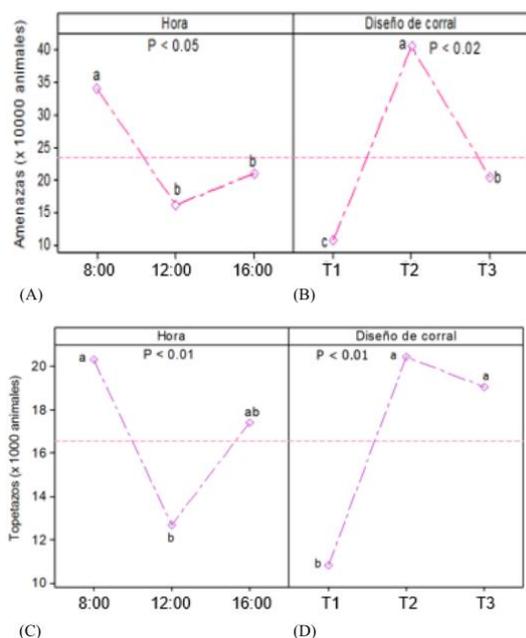
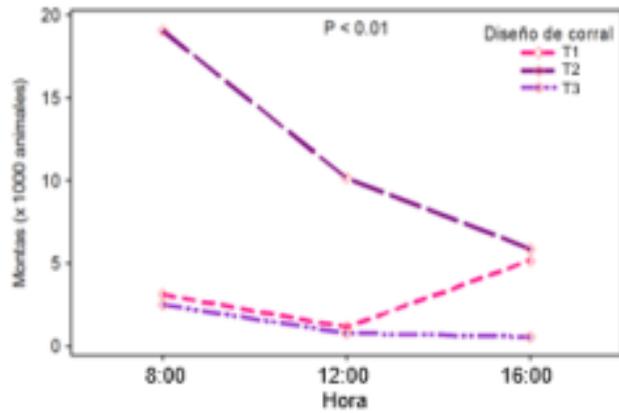


Figura 1. Comportamiento agonista (tasa de amenazas y topetazos) de bovinos en finalización intensiva: A y C) Según la hora del día; B y D) Según el diseño del corral. ^{abc} Literales diferentes dentro de cada gráfica indican diferencia estadística ($P \leq 0.05$).

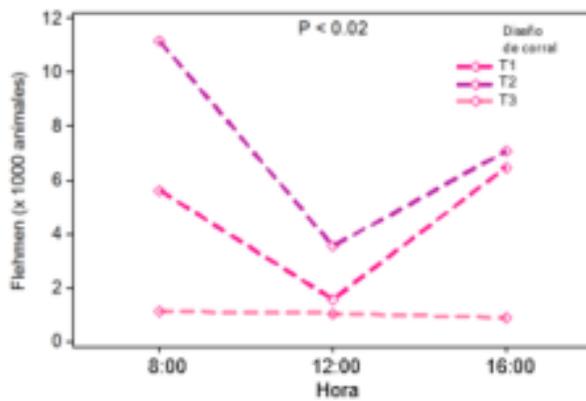
en los corrales Tipo 2 y Tipo 3; esta conducta agonista se traduce como una mayor inversión de tiempo en actividades de desplazamiento no asociados a la alimentación y está relacionada a la falta de diversos factores de compensación como la disponibilidad de sombra y de espacio vital (Park *et al.*, 2020, Salvin *et al.*, 2020). En el presente estudio la sombra disponible fue en corrales Tipo 1 (360 m²; 3.35 m² /cabeza), Tipo 2 (171 m²; 1.9 m² /cabeza) y en Tipo 3 (180 m²; 2.0 m² /cabeza). Cuando el ITH se encuentra entre las categorías de Peligro (> a 79 unidades) y Emergencia (> a 84 unidades), la disponibilidad de sombra debe ser suficiente de acuerdo al número de bovinos alojados en el corral de finalización para mitigar el efecto medio ambiental cálido (Brown-Brandl *et al.*, 2005).

En las figuras 2A, 2B y 2C, se muestran los resultados del comportamiento agonista en bovinos en finalización intensiva según la interacción del diseño del corral y la hora del día; se incluyen las tasas de reacción de Flehmen, montas y vocalizaciones.

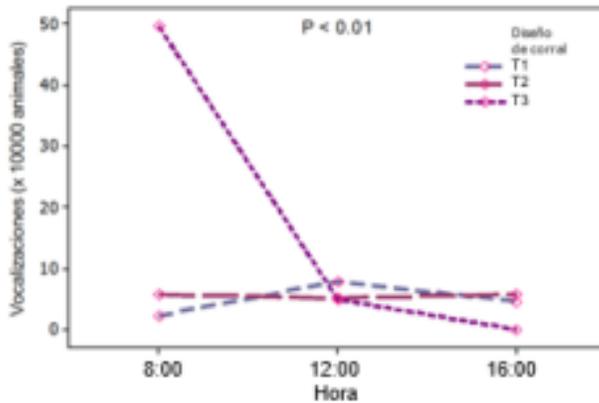
En la reacción de Flehmen influyó la hora y el diseño del corral, al ser la interacción estadística ($P < 0.02$); por lo tanto, hubo un comportamiento diferenciado entre los tipos de corral y la hora de observación. En los corrales Tipo 2, la reacción de Flehmen fue mayor a la estimada en los corrales Tipo 3, dependiendo de la hora, ya que a las 12:00 h se redujo; a las 8:00 h en los corrales Tipo 2 se estimó que 11 de cada 1000 bovinos la manifiestan, sin embargo, en los corrales Tipo 3 se estimó que menos de 2 por 1000 bovinos la presentan, y ésta permaneció constante en los tres horarios. En los bovinos alojados en los corrales Tipo 3, la tasa se mostró sin cambios perceptibles durante las horas objeto de registro. La presentación de la reacción de Flehmen en horas de la mañana está asociada al diseño del corral, aunque en su manifestación influyen otros factores relacionados al complejo orden social del grupo y características de dominancia en algunos bovinos tales como: temperamento, edad, peso, presencia de cuernos y antigüedad en el hato o en el grupo socialmente activo y que está muy relacionado con



(A)



(B)



(C)

Figura 2. Comportamiento agonista en bovinos en finalización intensiva durante el otoño, según la interacción del diseño del corral y la hora del día: A) Montas; B) Reacción de Flehmen; C) Vocalizaciones. ^{abc} Literales diferentes dentro de cada gráfica indican diferencia estadística ($P \leq 0.02$).

Tabla 5. Valores promedio de índice de temperatura y humedad relativa (ITH) registrados durante el invierno por hora y diseño de corral de finalización intensiva de bovinos de productores de carne, y valor de probabilidad para hora y diseño de corral

Hora	Diseño de corral	ITH
8:00	Tipo 1	70.3
	Tipo 2	68.0
	Tipo 3	68.0
12:00	Tipo 1	74.3
	Tipo 2	75.2
	Tipo 3	74.8
16:00	Tipo 1	73.5
	Tipo 2	74.7
	Tipo 3	73.9
EEM ¹		0.44
Fuente de variación:		Valor de P
Hora		0.01
Diseño de corral		0.78
Hora x Diseño de corral		0.01

¹ Error Estándar de la Media (n=48)

la disponibilidad de espacio en el corral de engorda; un factor a considerar son las interacciones homosexuales que son comunes en el ganado bovino joven sin castrar y que tiene diferentes variaciones entre genotipos e individuos (Jeziarski *et al.*, 1989). Al respecto, Hubbard *et al.* (2021), afirman que la ruptura en la sincronización social conductual provocada por la falta de espacio y en consecuencia por el incremento en las agresiones, aumenta el rango de variación individual en los patrones de conducta habitual de los bovinos.

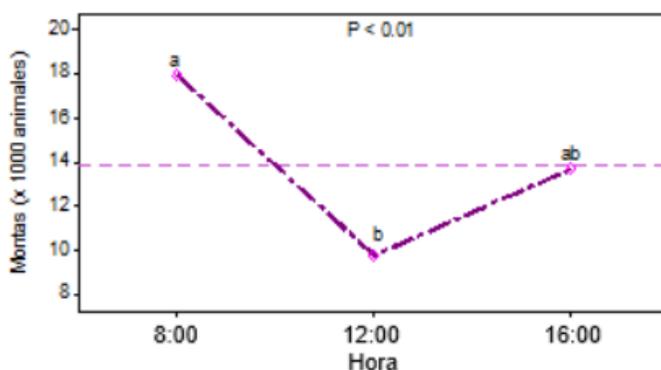
La presencia de montas también estuvo influida por la hora y el diseño del corral, al ser la interacción estadística significativa ($P < 0.01$) y este comportamiento es diferenciado entre el tipo de corral y la hora de observación. En los corrales del Tipo 2 la tasa fue mayor a la estimada en los corrales del Tipo 1 y Tipo 3, en relación a la hora ya que a las 12:00 h se redujo. El comportamiento conductual innato de los bovinos alojados en los corrales de engorda intensiva puede alterarse y ser distinto al que muestran en condiciones naturales (Ratnakaran *et al.*, 2017); en tal circunstancia, el comportamiento de dominio es un componente importante de la conducta social ya que los bovinos establecen jerarquías que pueden reducir o aumentar el nivel de agresión a los individuos que integran el rebaño (Bruno *et al.*, 2018), al respecto, el comportamiento agonista conocido como “síndrome de buller” en bovinos, es una manifestación que se vincula al establecimiento de la jerarquía social entre machos

(Freitas de Melo *et al.*, 2014). La frecuencia del “síndrome de buller” en los corrales de engorda bovina se determinó en 2 % (Blackshaw *et al.*, 1997), los bovinos que frecuentemente son montados pierden pelo, presentan lesiones en grupa y cola, y en casos extremos fracturas óseas (Stookey, 2001). Las vocalizaciones fueron audibles dependiendo del tipo de corral y la hora en que se manifestaron ($P < 0.01$). Aunque en menor tasa que las conductas de Flehmen y montas, en los corrales Tipo 3 a las 8:00 h se registró una tasa cercana a 50 x 10000 bovinos, mientras que en los corrales Tipo 1 y Tipo 3, la tasa fue menor a 10 x 10000 bovinos.

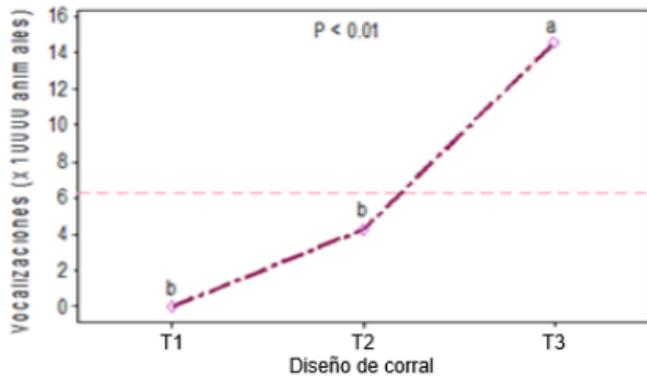
Invierno

En la Tabla 5 se presentan los valores promedio de ITH registrados por hora del día en cada tipo de corral de finalización intensiva de bovinos. Al igual que en el otoño, se observó que en la expresión del ITH hay efecto de hora del día y de diseño del corral. En las figuras 3A, 3B y 3C, se muestran los resultados del comportamiento agonista en bovinos en finalización intensiva en trópico seco durante el invierno, según hora del día para la manifestación de montas, vocalizaciones y reacción de Flehmen según el diseño de corral.

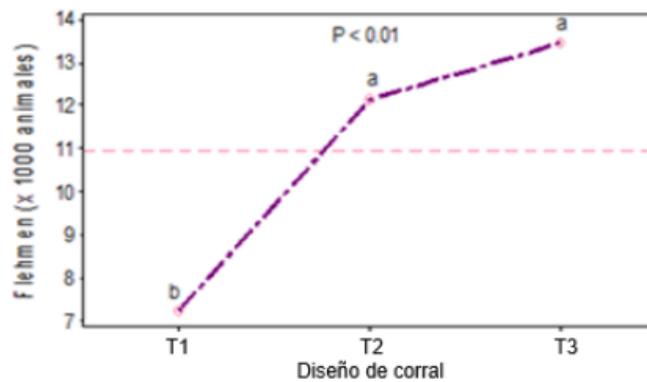
Estos resultados muestran que la mayor tasa de expresión agonista manifestada mediante las montas, ocurre durante la mañana en comparación con el medio día (18 vs. 10; $P < 0.01$); se entiende que la mayor expresión de comportamiento agonista ocurre cuando el valor de ITH es menor o igual a 69 unidades; en esta época del año, los bovinos



(A)



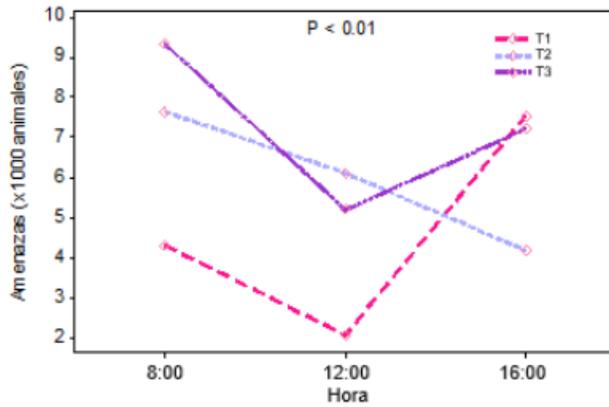
(B)



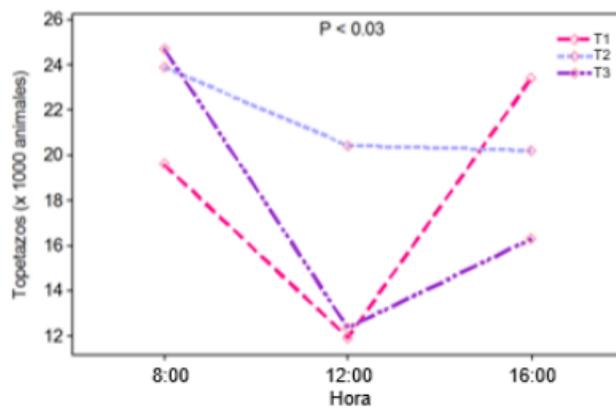
(C)

Figura 3. Comportamiento agonista en bovinos en finalización intensiva durante el invierno: A) Montas según la hora del día; B) Vocalizaciones según el diseño del corral; C) Reflejo de Flehmen según el diseño de corral ($P < 0.01$).

se encontraban en zona de Confort térmico, pero el comportamiento agonista disminuye sensiblemente cuando el valor de ITH supera las 74 unidades. Con base en esta información se confirma que el ITH es un buen indicador para predecir el comportamiento agonista de los bovinos en finalización intensiva, en lo que a montas se refiere, toda vez que esta interacción sexual está asociada a la dominancia social (Lane *et al.*, 2016), a la edad, al ambiente social durante la finalización del ganado, a los disturbios ambientales y al temperamento propio de la especie determinado por factores genéticos (Bozkurt *et al.*, 2006, Fallahi, 2019). La conducta agonista, principalmente manifiesta mediante expresiones sexuales, se refieren al acoso físico y la monta entre bovinos del mismo sexo (Blakshaw, 2003).



(A)



(B)

Figura 4. Comportamiento agonista en bovinos en finalización intensiva en trópico seco durante el invierno, según la interacción del diseño del corral y la hora del día: A) Amenazas; B) Topetazos. ($P < 0.03$).

La mayor tasa de vocalizaciones registradas en el corral de engorda correspondió al diseño Tipo 3 vs. diseño Tipo 2 (15 vs. 5; $P < 0.01$). Las vocalizaciones en el ganado bovino proporcionan información significativa sobre la forma en que ellos se llaman mediante esta forma de comunicación; la interpretación correcta de esta información pudiese ser utilizada para mejorar la gestión y evaluación del bienestar; entonces la vocalización puede entenderse como una expresión subjetiva por parte de un individuo en su propio estado interno, por ello, el comportamiento vocal del ganado es un indicador potencialmente útil de su funcionamiento fisiológico y psicológico (Wattsy Stookey, 1998). En el presente caso, los llamamientos del ganado en esta zona de la UPP pueden ser atribuidos a situaciones relacionadas con hora de servida del alimento, o bien ante la presencia de otros bovinos que son conducidos a través de los

pasillos adyacentes hacía el área de manejo dada su cercanía. Sin embargo, un estudio más detallado de la medición de vocalizaciones pudiese dilucidar la expresión de estas vocalizaciones por tipo, frecuencia, duración, entre otros elementos.

En el presente estudio, la reacción de Flehmen fue mayor en los corrales Tipo 3 que en los corrales Tipo 1 (14 vs. 7; $P < 0.01$). El macho es quien principalmente presenta esta conducta sexual (Blakshaw, 2003); por ello es que en los corrales de engorda de ganado bovino donde solo coexisten machos, la reacción de Flehmen se produce al oler el prepucio o la orina de otros machos, y en su presentación influyen otros factores, relacionados a su complejo orden social y características de dominancia tales como: edad, peso, presencia de cuernos y antigüedad en el hato o en el grupo socialmente activo (Freitas de Melo *et al.*, 2014).

Tabla 6. Disponibilidad de espacio vital en bovinos finalizados en corral de engorda intensiva durante otoño e invierno.

Época	Diseño de corral	n	Peso final (kg)	Superficie (m ²)	Espacio vital (m ²)	Diferencia (m ²)
Otoño	Tipo 1	108	491.0	1620	14.93	-5.07
	Tipo 2	91	479.5	1200	13.18	-6.82
	Tipo 3	91	498.0	1080	11.86	-8.14
Invierno	Tipo 1	108	491.0	1620	14.93	-5.07
	Tipo 2	90	488.0	1200	13.33	-6.67
	Tipo 3	87	500.5	1080	12.41	-7.59

n= bovinos alojados por corral

En las figuras 4A y 4B, se muestran los resultados del comportamiento agonista en bovinos en finalización intensiva durante el invierno, según la interacción del diseño del corral y la hora del día. Este comportamiento agonista incluye las tasas de amenazas y topetazos.

Se observa que en los corrales diseño Tipo 2 la máxima expresión de amenazas y topetazos ocurre a las 8:00 h, después disminuye en relación con el tiempo hasta lograr una mínima expresión a las 16:00 h. En los corrales diseño Tipo 3, la expresión de amenazas y topetazos alcanza su mayor valor a las 8:00 h, en seguida se observa una notable disminución a las 12:00 h para luego incrementar a las 16:00 h. Por otra parte, en los corrales Tipo 1, la expresión mayor de amenazas y topetazos ocurre a las 8:00h, disminuye notablemente a las 12:00 h y aumenta la actividad a las 16:00 h. A las 8:00

h, el ITH (69 unidades) indica que los bovinos se encuentran en estado de Confort, por lo que la inversión de tiempo para manifestar su conducta agonista alcanza su máxima expresión; posteriormente al presentarse la categoría de Alerta (75 unidades), la actividad agonista disminuye; sin embargo, a pesar de que la Alerta persiste a las 16:00 h (74 unidades), las amenazas y topetazos, tienden a incrementarse en los corrales Tipo 3 y Tipo 1.

En la Tabla 6, se presentan los valores correspondientes a disponibilidad de espacio vital en bovinos finalizados en corral de engorda en las estaciones de otoño e invierno.

Se conoce que todo individuo requiere un mínimo de espacio para sentirse comfortable; aunque en el Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en la Producción de Carne de Ganado Bovino en Confinamiento (SAGARPA-SENASICA, 2014), se establecen para clima seco de 12 a 12.5 m² /cabeza, no considera que los bovinos incrementan de peso durante su permanencia en el corral de engorda; al tomar en cuenta el cambio en el peso vivo del ganado, Lagos *et al.* (2014) recomiendan 18.5 m² por bovino de espacio vital promedio o bien 15 m² para bovinos de hasta 300 kg de peso vivo y 20 m² a partir de 400 kg. Con base en esta referencia, el espacio vital en los corrales de finalización objeto de estudio se redujo en el orden de 40.7 % en el Tipo 3, 34.1 % en Tipo 2 y de 25.3 % en corrales Tipo 1 en el otoño, mientras que, en el invierno, el espacio vital se redujo 37.9 % en Tipo 3, 33.3 % en Tipo 2 y 25.3% en corrales Tipo 1. Macitelli *et al.* (2020), afirman que el espacio reducido en los corrales de engorda, afecta el bienestar del ganado productor de carne; además cuando se quebranta el espacio vital puede implicar disturbios en la organización social, incremento de interacciones que involucran la agresión y promueven la tensión social, así como estados estresantes que pudieran ser incompatibles con los indicadores productivos; esto generalmente ocurre en todas las especies animales debido a que el individuo de rango subordinado requiere de un espacio mínimo para mostrar su subordinación; portal razón, una vez ocurrida la interacción agonista, si el individuo derrotado o subordinado no dispone del espacio suficiente para retirarse y demostrar su subordinación, seguirá siendo agredido por el individuo dominante (Landaeta-Hernández y Drescher, 2012). En relación a la dominancia jerárquica en el corral de

engorda bovina Hubbard *et al.* (2021), señalan que esta es mayormente manifiesta cuando el comportamiento de un animales inhibido o alterado por la presencia o amenazade otro animal que tiene mayor predominancia sobre otros individuos en el mismo espacio. En contraparte, Braga *et al.* (2018), determinaron que independiente de la asignación de espacio durante la finalización, la capacidad de adaptación a las condiciones del corral de engorda depende del temperamento del ganado cebuino juvenil. En el mismo orden, se ha relacionado la densidad en el corral de engorda, con el bienestar y la respuesta productiva de los bovinos; los resultados mostraron que al aumentar el espacio por animal en los corrales de engorda puede representar mejoras en el bienestar de los bovinos, ya que estos pueden expresar su comportamiento natural, tienden a aumentar su comportamiento social y disminuyen las conductas agonistas, las cuales suelen presentarse en corrales con un menor espacio vital por animal (Ha et al., 2017, Montelli *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

En otoño e invierno en la región tropical seca del noroeste mexicano, el comportamiento agonista de bovinos productores de carne es sensiblemente disminuido cuando el índice de calor y humedad en los corrales de finalización intensiva se incrementa; en esta expresión conductual también influye el diseño del corral. Estos resultados implican que cuando el espacio vital es insuficiente en relación al incremento de peso corporal de los bovinos durante su permanencia en el corral y la sombra disponible no es suficiente según el número de bovinos alojados, esta violación a las condiciones de bienestar conlleva a disturbios en el corral de engorda, incrementan las interacciones negativas en las que predominan las agresiones por lo que el aumento de la tensión social conduce a lesiones y disminución en los indicadores productivos. En tal sentido, se debe considerar el cambio de peso y el número de bovinos alojados en el corral de engorda, y considerar el valor que alcanza el ITH en el trópico seco mexicano para considerar la disponibilidad de sombra y de espacio vital. Finalmente, al diseñar y construir instalaciones se deben considerar los factores de bienestar para los bovinos, seguridad para los operarios, funcionalidad y protección contra factores adversos del clima.

Acknowledgements The authors thank Carnes Don Saul SA de CV for the facilities granted to carry out this project.

Financing. The study was partially funded by the authors.

Interest conflict. No conflict of interest to declare.

Compliance with ethical standards. Because the data obtained are part of an animal welfare project, the bovines object of this study did not suffer manipulation, or physical or psychological abuse. These actions adhere to the Federal Law of Animal Health (México, 2012), Articles 1°, 2°, 16° subsection XIV, and 20° subsections III, IV and V, provisions applicable to compliance Good Livestock Practices.

Data availability. The data collected in the present study are available in electronic format with corresponding author.

Authors contribution (CRediT). **Ana Citlaly Zazueta-Gutiérrez.** Investigation, Visualization, Writing original Draft; **Francisco Gerardo Ríos-Rincón.** Conceptualization, Supervisión, Writing-review & edition; **Beatriz Isabel Castro Pérez.** Project administration, Supervisión, Writing original draft; **Alfredo Estrada-Angulo.** Resources, Supervision; **Jesús José Portillo-Loera.** Methodology, Formal analysis and Data curation.

REFERENCIAS

- Arias, R.A., Mader, T.L. and Escobar, P.C., 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40, pp. 7-22. DOI: 10.4067/S0301-732X2008000100002.
- Beatty, D.T., Barnes, A., Taylor, E., Pethick, D., McCarthy, D.M. and Maloney, S.K. 2006. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *Journal of Animal Science*. 84, pp. 972–985. <https://doi.org/10.2527/2006.844972x>
- Berckmans, D. 2014. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Scientific and Technical Review of the Office International des Epizooties*. 33, pp. 189-196. Disponible en: <https://www.oie.int/doc/ged/d13666.pdf>
- Beretta, V. Simeone, A. and Bentancur, O. 2013. Manejo de la sombra asociado a la restricción del pastoreo: efecto sobre el comportamiento y performance estival de vacunos. *Agrociencia Uruguay*. 17, pp. 131-140. ISSN 2301-1548.

- Blackshaw, J., Blackshaw, A. and McGlone, J. 1997. Buller steer syndrome review. *Applied Animal Behaviour Science*. 54, pp. 97-108. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(96\)01170-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(96)01170-7)
- Blackshaw, J. 2003. Notes on some topics in applied animal behaviour. Third edition. Queensland, AU, University of Queensland. Updated in 2003. [Internet]. [Citado 02 Feb 2020] Disponible en: <http://www.animalbehaviour.net/JudithKBlackshaw/JKBlackshawWholeBook.pdf>
- Bolado-Sarabia, J.L., Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., Tamayo-Sosa, A.R., Barreras-Serrano, A., Sánchez-López, E., García-Reynoso, I.C. Ríos-Rincón, F.G., Rodríguez-Poché, M.Y., García-Vega, L.A., Gallegos, E., and Castro-Osuna, P. 2018. Effect of immunocastration on behavior and blood parameters (cortisol and testosterone) of Holstein bulls. *Austral Journal of Veterinary Sciences*. 50, pp. 77-81. DOI: 10.4067/S0719-81322018000200077
- Bozkurt, Y., Ozkaya, S. and Dewi Ap, I. 2006. Association between aggressive behaviour and high-energy feeding level in beef cattle. *Czech Journal of Animal Science*. 51, pp. 151-156. <https://doi.org/10.17221/3922-CJAS>.
- Braga, J.S., Faucitano, L., Macitelli, F., Sant'Anna, A.C., Méthot, S. and Paranhos da Costa, M.J.R. 2018. Temperament effects on performance and adaptability of Nelore young bulls to the feedlot environment. *Livestock Science*. 216, pp. 88-93 <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.07.009>
- Brown-Brandl, T.M. 2018. Understanding heat stress in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 47, pp. 1-9. <http://dx.doi.org/10.1590/rbz4720160414>
- Brown-Brandl, T.M., Eigenber, R., Nienaber, J.A. and 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, pp. 451-462. DOI:10.1016/j.biosystemseng.2004.12.006
- Bruno, K., Vanzant, E., Vanzant, K., Altman, A., Kudupoje, M. and McLeod, K. 2018. Relationship between quantitative measures of temperament and other observed behaviors in growing cattle. *Applied Animal Behaviour Science*. 199, pp. 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.10.009>
- CIMA-ASERCA. 2019. Centro de Información de Mercados Agropecuarios. Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. [Internet]. [Citado 17 nov 2020]. Disponible en: https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2019/Reporte_mercado_bovino_050919.pdf
- Daniel, W. W. B. 2002. Bioestadística en ciencias de la salud. México, D.F. Limusa Wiley Editorial. pp. 235-394. ISBN-10: 9681861647.
- Estación climatológica de la Escuela de Biología. 2020. Universidad Autónoma de Sinaloa. [Internet] [13 marzo 2020] Disponible en: <https://www.uas.edu.mx/servicios/clima/boletines>
- Fallahi, S. 2019. Behavioral genetics in cattle- a review. *Journal Livestock Science*. 10, pp. 102-108. <http://dx.doi.org/10.33259/JLivestSci.2019.102-108>
- Foris, B., Zebunke, M., Langbein, J. and Melzer, N. 2019. Comprehensive analysis of affiliative and agonistic social networks in lactating dairy cattle groups. *Applied Animal Behaviour Science*. 210, pp 60-67. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.10.016>.

- Freitas-de Melo, A., Lacuesta, L. and Ungerfeld, R. 2014. Homosexual behavior in male ruminants. Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 5, pp. 91-106. DOI:10.22319/rmcp.v5i1.3218.
- Galina, C., Orihuela, A. and Rubio, I. 1996. Behavioral trends affecting oestrus detection in Zebu cattle. *Animal Reproduction Science*. 42, pp. 465-470. DOI:10.1016/0378-4320(96)01491-1
- Gaughan, J.B., Mader, T.L., Holt, S.M. and Lisle, A. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 86, pp. 226–234. DOI: [10.2527/jas.2007-0305](https://doi.org/10.2527/jas.2007-0305)
- Ha, J.J., Yang, K.L., Oh, D.Y., Yi, J.K. and Kim, J.J. 2017. Rearing characteristics of fattening Hanwoo steers managed in different stocking densities. *Asian-Australas Journal Animal Science*. 31, pp. 1714-1720. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0451>
- Herrera, H. J. G. y A. Barreras S. 2005. Análisis Estadístico de Experimentos Pecuarios (Utilizando el Programa SAS). Segunda Edición. Colegio de Postgraduados. Ganadería. Campus Montecillo. México. 119 p.
- Hubbard AJ, Foster MJ and Daigle CL. 2021. Social dominance in beef cattle—A scoping review. *Applied Animal Behaviour Science*. 241, pp. 105390. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105390>
- Jezierski TA, Kozirowski M, Goszczyński J and Sieradzka I. 1989. Homosexual and social behaviours of young bulls of different geno- and phenotypes and plasma concentrations of some hormones. *Applied Animal Behaviour Science*. 24, pp. 101-113. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(89\)90038-5](https://doi.org/10.1016/0168-1591(89)90038-5)
- Lagos, G.H., González, G.F.J. y Castillo, R.F. 2014. Paquete tecnológico para la engorda de ganado bovino en corral de engorda. Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Aldama, Chihuahua, México.
- Landaeta-Hernández, A. y Drescher, K. 2012. Instalaciones, conducta y bienestar en vacunos tropicales. *Revista Mundo Pecuario*. 8, pp. 121-131. ISSN: 1856-111X. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/35472>
- Lane, S.M., Haughan, A.E., Evans, D., Tregenza, T. and House, C.M. 2016. Same-sex sexual behaviour as dominance display. *Animal Behaviour*. 114, pp. 113-118. <http://dx.doi.org/10.1016/anbehav.2016.01.005>
- Macitelli, F., Braga, J.S., Gellatly, D. and Paranhos da Costa, M.J.R. 2020. Reduced space in outdoor feedlot impacts beef cattle welfare. *Animal*. 14, pp. 1-10. doi: 10.1017/S1751731120001652
- Manterola C, y Otzen T. 2014. Estudios observacionales. Los diseños utilizados con mayor frecuencia en investigación clínica. *International Journal of Morphology*. 32, pp. 634-645. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022014000200042>
- Mader, T.L., Griffin, D., and Hahn, L. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 84, pp. 712-719. <http://doi.org/10.2527/2006.843712x>
- Marti, S., Devant, M., Amatayakul-Chantler, S., Jackson, S., Lopez, E., Janzen, E.D. and Schwartzkopf-Genswein, K.S. 2015. Effect of anti-gonadotropin-releasing factor vaccine and band castration on indicators of welfare in beef cattle. *Journal of Animal Science*. 93, pp. 1581-1591. DOI: [10.2527/jas2014-8346](https://doi.org/10.2527/jas2014-8346)
- Minitab, I. N. C. 2000. MINITAB statistical software. Minitab Release. Ver. 13.

- Miranda-de la Lama, G.C. 2013. Transporte y logística pre-sacrificio: principios y tendencias en bienestar animal y su relación con la calidad de la carne. *Veterinaria México*. 44, pp. 31-56. ISSN: 0301-509 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922013000100004&lng=es.
- Montelli, N.L.L.L., Macitelli, F., Da Silva Braga, J. and Da Costa, M.J.R.P. 2019. Economic impacts of space allowance per animal on beef cattle feedlot. *Semina: Ciências Agrárias*. 40, pp. 3665-3678. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n6supl3p3665>
- Mota-Rojas, D., Velarde, A., Huertas, C.S. y Cajiao, M.N. 2016. Bienestar animal, una visión global en Iberoamérica. Tercera edición. Barcelona, España: Editorial ELSEIVER. pp 516. ISBN: 978-84-9113-026-0.
- Park, R.M., Foster, M. and Daigle, C.L. 2020. A scooping review: The impact of housing systems and environmental features on beef cattle welfare. *Animals*. 10, pp. 565-581. Doi: 10.3390/ani10040565
- Poiani, A. 2010. Animal homosexuality: a biosocial perspective. 1rst ed. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- Ratnakaran, A.P., Sejian, V., Sanjo-Jose, V., Vaswani, S., Bagath, M., Krishnan, G., Beene., V, Devi, I., Varma, G. and Bhatta, R. 2017. Behavioral responses to livestock adaptation to heat stress challenges. *Asian Journal of Animal Science*. 11, pp. 1-13. <https://doi.org/10.3923/ajas.2017.1.13>
- Renaudeau, D., Collin, A., S. Yahav, S., de Basilio, V., Gourdine, J.L. and Collier, R.J. 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*. 6, pp. 707-728. Doi: 10.1017 / S1751731111002448.
- SADER-SIAP. 2019. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. [Internet]. [Citado 17 nov 2020]. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>
- SAGARPA-SENASICA. 2014. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en la Producción de Carne de Ganado Bovino en Confinamiento
- Salvin, H.E., Less, A.M., Cafe, L.M., Colditz, I.G. and Lee, C. 2020. Welfare of beef cattle in Australian feedlots: a review of the risks and measures. *Animal Production Science*. 60, pp. 1569-1590. <https://doi.org/10.1071/AN19621>
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC, USA. SAS Institute Inc. ISBN 1-59047-243-8
- Sowell BF, Mosley JC, and Bowman JGP. 1999. Social behaviour of grazing beef cattle: implications for management. *Journal of Animal Science*. 77(E-Suppl), pp. 1-6. <http://dx.doi.org/10.2527/jas2000.00218812007700ES0021x>
- Stackhouse-Lawson, K.R., Tucker, C.B., Calvo-Lorenzo, M.S. and Mitloehner, F.M. 2015. Effects of growth-promoting technology on feedlot cattle behavior in the 21 days before slaughter. *Applied Animal Behaviour Science*. 162, pp. 1-8. DOI: [10.1016/j.applanim.2014.11.001](https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.11.001)
- Stookey, J.M. 2001. Buller steer syndrome. University of Saskatchewan Western College of Veterinary Medicine Applied Ethology. [Internet] [Citado 13 junio 2020] Disponible en: <http://www.usask.ca/wcvm/herdmed/appliedethology/articles/bullers.html>.

- Swaney, W.T. and Kevene, E.B. 2009. The evolution of pheromonal communication. *Behavioural Brain Research*. 200, pp. 239-247. DOI:10.1016/2008.09.039.
- Watts, J.M. and Stookey, J.M. 1998. Effects of restraint and branding on rates and acoustic parameters of vocalization in beef cattle. *Applied Animal Behaviour Science*. 62, pp. 125-135.
- Watts, J.M. and Stookey, J.M. 2000. Vocal behavior in cattle: the animal's commentary on its biological processes and welfare. *Applied Animal Behaviour Science*. 67, pp. 15-33. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(99\)00108-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00108-2)

CAPITULO 5: RESPUESTA CONDUCTUAL DIURNA DE BOVINOS PRODUCTORES DE CARNE EN FINALIZACIÓN INTENSIVA EN EL TRÓPICO SECO

ARTÍCULO 4:

Daily behavioral response of beef cattle in feedlot in the dry tropic

Ana Citlaly Zazueta, Jesús José Portillo, Beatriz Isabel Castro,
Alfredo Estrada-Angulo, Jesús David Urías, Francisco Gerardo Ríos

Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México

*Correspondencia: fgrios@uas.edu.mx

RESUMEN

Objetivo: Valorar la conducta diurna de ganado bovino productor de carne en finalización en el trópico seco. **Materiales y Métodos:** En el otoño se realizó un estudio observacional prospectivo con duración de cuarenta y dos días. A las 8:00, 12:00 y 16:00 h se registraron las pautas conductuales, temperatura ambiente y humedad relativa; el índice de temperatura y humedad fue calculado. Los bovinos permanecieron en corrales provistos de sombra de polipropileno y corrales sin sombra. **Resultados:** A las 8:00 h todos los bovinos sujetos a condiciones ambientales de confort o ($p < 0.01$); pero a las 12:00 h los bovinos bajo sombra estuvieron en peligro térmico y a las 16:00 h en alerta térmica, y a las 12:00 y 16:00 h en los bovinos sin acceso a sombra persistió el peligro térmico ($p < 0.01$). El acceso al comedero se inhibió a las 8:00 y 12:00 h e incrementó a las 16:00 h, pero la rumia disminuyó a las 8:00 y 16:00 y aumentó a las 12:00 h ($p < 0.01$). Los indicadores de descanso son mayormente observados en peligro y alerta térmica ($p < 0.01$). Los indicadores agonistas se encuentran inhibidos las 8:00 y 12:00 h ($p \leq 0.04$). La conducta social es mayormente manifiesta a las 16:00 h ($p < 0.001$). **Conclusiones:** Lxpresión diurna de la conducta bovina relacionada coel factor climático y la provisión de sombra, puede ser inhibida en las horas de más alta influencia calórica expresada en el índice de temperatura y humedad.

Palabras clave: Conducta animal; bienestar animal; facilidades de alojamiento; clima cálido; estrés por calor; *Bos indicus* (Fuente: AGROVOC Multilingual Thesaurus).

ABSTRACT

Objective: To assess the diurnal behavioral response of beef cattle in feedlot in the dry tropics. **Materials and Methods:** During fall, a prospective observational study was carried out for 42 days. At 8:00, 12:00 and 16:00 h, behavioral patterns, temperature and relative humidity were recorded, and the temperature and humidity index were calculated. Cattle were housed in pens provided with polypropylene shade and pens without shade. **Results:** At 8:00 h, the cattle under shade and cattle without access to shade were subjected to environmental conditions of thermal comfort category ($p < 0.01$); but at 12:00 h cattle under shade were in thermal danger and thermal alert at 16:00 h. For cattle without access to shade at 12:00 and 16:00 h, the thermal danger persisted ($p < 0.01$). Feed access was inhibited at 8:00 and 12:00 h and increased at 16:00 h, but rumination decreased at 8:00 and 16:00 h and increased at 12:00 h ($p < 0.01$). Rest indicators were mostly observed in danger and thermal alert ($p < 0.01$). The agonist indicators were inhibited at 8:00 and 12:00 h ($p \leq 0.04$). Social behavior was mostly manifest at 16:00 h ($p < 0.001$). **Conclusions:** The diurnal expression of bovine behavior related to the climatic factor and the provision of shade, can be inhibited in the hours of highest caloric load expressed as the Temperature and Humidity Index.

Keywords: animal behaviour, animal welfare, warm season, animal housing, thermal stress, *Bos indicus* (AGROVOC Multilingual Thesaurus)

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población humana ha repercutido en el aumento de la demanda de proteína de origen animal y en respuesta a ello se ha intensificado el sistema de producción de carne de bovino (1); al respecto, Mota-Rojas et al (2) aseguran que al confinar bovinos en los corrales de finalización intensiva se impactan negativamente los indicadores de bienestar ya que se altera el comportamiento natural de los bovinos; incluso casos extremos, pueden manifestar un comportamiento estereotipado como manipular objetos o partes del cuerpo de sus congéneres; estas estereotipias pueden indicar un bienestar restringido (3).

En el comportamiento diurno de bovinos productores de carne en sistema de producción intensiva pueden influir las condiciones ambientales; en este contexto, se observó que cuando el valor del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) supera las 75 unidades disminuye la tasa de actividad agonista: montas de 3.1 a 0.0, amenazas de 3.1 a 2.0, reflejo de Flehmen de 3.5 a 2.0, topetazos de 12.0 a 0.0 así como la expresión social de

acicalamientos de 10.1 a 8.2, por lo que la respuesta conductual se rige mediante ritmos biológicos con el propósito de adaptarse al medio ambiente y así de esta manera se asegure su supervivencia (4); en tal sentido, la expresión de esta conducta, obedece a que los ritmos circadianos son ritmos impulsados por un reloj biológico diario que persisten en un entorno constante (5). Por esta razón, el propósito de cuantificar el patrón de comportamiento del ganado bovino en confinamiento es útil para determinar el impacto de factores ambientales y de manejo que generan estímulos sobre la conducta habitual cuando el ganado no se alberga en condiciones favorables (6). En este aspecto, Grandin (7), refiere que los bovinos en corral de engorde están sujetos a la variación de diversas condiciones ambientales y de alojamiento, que pueden influir negativamente en los indicadores de bienestar, ya sea por la presencia de lodo abundante por lluvias, estrés por calor, insuficiencia de sombra y de espacio vital; a propósito de lo anterior, se ha observado que en los corrales de engorde de bovinos hay una tendencia a reducir la asignación de espacio por cabeza, a pesar de su potencial impacto negativo en el bienestar animal (8).

Por su parte, Wagner et al (9) afirman que los episodios de estrés o enfermedad en los animales alteran el ritmo circadiano, y se conoce que la interrupción de la actividad circadiana es, por tanto, un indicador de estos trastornos, por tal razón conocer las conductas habituales del bovino puede aportar elementos para identificar el ritmo de actividad día-noche ya que las variaciones del ciclo parecen depender menos de factores que afectan las actividades básicas. En este sentido, Li et al (10) enfatizan en la importancia de mantener la homeostasis en el ganado bovino principalmente en las regiones tropicales donde la temperatura ambiental es elevada, la oscilación térmica es amplia y la exposición a la radiación solar es intensa que compromete el bienestar de los bovinos alojados en corral de engorde.

Por lo tanto, el objetivo del actual estudio es conocer la respuesta conductual diurna del ganado bovino productor de carne en finalización intensiva en circunstancias ambientales del trópico seco en otoño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área del estudio. En una Unidad de Producción Pecuaria ubicada en el valle agrícola de Culiacán, Sinaloa, México (24° 33' 46" N; 107° 11' 08" O; 103 msnm), se llevó a cabo un estudio observacional prospectivo (11) con duración de seis semanas a partir de la sexta y hasta la doceava semana del otoño.

Condiciones climáticas de la región. Las condiciones climáticas son de trópico seco (BS1(h') w(w)(e)), donde la temperatura media anual es de

25°C, se registra temperatura mínima promedio de 10.5°C en enero y la máxima promedio es mayor a 36°C desde mayo a julio. En la región, la humedad relativa promedio es de 68%, máxima promedio de 98% y mínima promedio de 14% (12).

Características de los corrales. Se trata de corrales construidos específicamente para la reciba, engorda y finalización de ganado bovino, fabricados con los siguientes materiales: piso de tierra, tubería metálica de 1.60 m de altura, estructura de la sombra a base de material metálico, bebedero automatizado de acero inoxidable asignado a dos corrales y banqueta de dos metros de amplitud en el área de comedero. Se seleccionaron aleatoriamente ocho corrales, cuatro sin sombra y cuatro con sombra. Se midió cada corral y se calculó la superficie y área de sombra disponible (m²), orientación de la sombra (en este caso de sur a norte), longitud del comedero y del bebedero. El material utilizado en la provisión de sombra fue malla de polipropileno de color azul, con un nivel de filtración de 70%, colocada a 3.0 m de altura.

Características de los bovinos. Se incluyeron machos sin castrar, cuyo componente racial incluye *Bos indicus* en cruzamiento con *Bos taurus* principalmente de las razas Pardo Suizo Americano, Pardo Suizo Europeo, Beefmaster, Charolais, Angus, en proporciones no determinadas.

Alimentación y manejo de los bovinos. Las prácticas de manejo, incluida la estrategia de alimentación se apegó al protocolo establecido para la engorda y finalización de bovinos en el noroeste de México; estas prácticas involucran la aplicación de vacunas, el uso de desparasitantes y la colocación de implantes a base de estradiol, tilosina y acetato trembolona. La dieta basal se constituye de heno de maíz, grano de maíz hojuelado, pasta de soja, granos secos de destilería, melaza, y premezcla de vitaminas y minerales. Esta formulación se sirve mecánicamente dos veces al día; por la mañana las 8:00 h y por la tarde a las 16:00 h, en proporción 40% en el horario matutino y 60% en el horario vespertino. La dieta de finalización contiene 13.1% de proteína cruda y 3.11 Mcal/kg de energía metabolizable.

Registro de indicadores climáticos: La temperatura ambiente y la humedad relativa se registran mediante termohigrómetros digitales (Avaly, Modelo DTH660, Mofeg S.A., Zapopan, Jalisco, México) situados al centro y dentro de cada corral objeto de estudio. El índice de calor y humedad se calculó mediante la fórmula: $ITH = 0.81 \times T + [(HR/100) * (T - 14.40)] + 46.40$ (13), donde T es la temperatura ambiental en grados Celsius y HR es la humedad relativa expresada en porcentaje. Durante el periodo de estudio, se registraron los indicadores climáticos: temperatura, humedad relativa,

temperatura mínima y máxima y se calculó el Índice de Temperatura y Humedad (ITH).

Registro de indicadores conductuales diurnos. Con base en el procedimiento referido por Marti et al (14) se registraron los indicadores conductuales diurnos: acceso a comedero, acceso a bebedero, echados, de pie, rumiando, acicalándose, topetazos, montas y reflejo de Flehmen. Los indicadores conductuales y los indicadores climáticos se registraron a las 8:00, 12:00 y 16:00 horas.

Aspectos éticos. Los bovinos fueron manejados conforme al protocolo sanitario y de alimentación descrito en el Manua de Buenas Prácticas en la Producción de Carne de Ganado Bovino en Confinamiento (15). Antes de iniciar actividades, el protocolo de la investigación fue aprobado por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de los Animales de la Facultad de Medicina Veteinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa (CICUA-FMVZ/20-06-2019), así como por el Directivo de Agropecuaria JS SA de CV, Unidad de Producción Pecuaria (UPP) donde se llevó a cabo el estudio. La UPP cuenta con acreditación vigente por parte de la Organización Mexicana de Certificación Ganadera y Alimentaria, A.C. (OMECEGA-012-PD-25-22-201), por la aplicación de Buenas Prácticas Pecuarias en la Producción de Carne de Ganado Bovino.

Análisis Estadístico. En el registro y análisis de las variables, la unidad de observación fue el corral. Debido a que el área de los corrales y los bovinos alojados variaron, se obtuvieron las tasas para cada conducta, mediante la fórmula:

$$\text{Tasa} = (a/(a+b))k \quad (16).$$

Donde:

a = Número de bovinos que mostraron la conducta en cada corral y hora de observación.

a + b = Número de bovinos en el corral y hora de observación.

k = 100.

Mediante la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y las tasas de animales comiendo, bovinos de pie, bovinos echados, se determinó la distribución aproximadamente normal ($p \leq 0.05$). Enseguida, los valores de las variables no normales se transformaron mediante la raíz cuadrada del arco seno, y se aplicó de nuevo la prueba de Kolmogorov-Smirnov, pero no se logró que se normalizaran. Por ello, las tasas se convirtieron a rangos, y con ellos se procedió con la ejecución del análisis de la varianza con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + TC_i + H_j + (TC * H)_{ij} + e_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Rango para la tasa de la variable conductual.

μ = Media general de los rangos.

TC_i = Efecto del tipo de corral (con sombra, sin sombra).

H_j = Efecto de la hora del día (8:00, 12:00, 16:00).

$(TC*H)_{ij}$ = Efecto de la interacción del tipo de corral con la hora del día.

e_{ij} = Componente del error aleatorio.

Para el cotejo de los valores promedio de los rangos, se utilizó la opción LSMEANS con la prueba de Tukey-Kramer (17). Las variables conductuales se presentan como medias para las variables con distribución normal, mientras que para las que no fueron normales se muestran como medianas. En el análisis estadístico se estableció el valor de alfa menor o igual a 0.05 para considerar diferencia estadística.

RESULTADOS

Indicadores climáticos. Los valores promedio de los indicadores climáticos que incluye temperatura ambiente, humedad relativa, temperatura mínima y máxima e Índice de Temperatura y Humedad por tipo de corral y hora del día se presentan en la tabla 1. En la temperatura ambiente, humedad relativa e Índice de Temperatura y Humedad, influye la hora del día ($p < 0.01$), pero en estos indicadores no se observó interacción entre factores ni efecto por tipo de corral.

Tabla 1. Promedio de los indicadores climáticos y determinación de la categoría térmica por tipo de corral durante el otoño en el trópico seco mexicano.

Item	Tipo de corral						TC	p	
	Corrales c/sombra			Corrales s/sombra				H	TC*H
	08:00	12:00	16:00	08:00	12:00	16:00			
Temperatura, °C	23.43	31.57	29.83	23.88	31.82	32.98	0.27	0.01	0.52
Humedad relativa, %	59.83	45.17	42.17	68.33	46.50	30.00	0.87	0.01	0.22
Mínima, °C	18.70	16.95	17.66	19.28	18.60	19.11	0.09	0.38	0.80
Máxima, °C	35.18	32.55	35.70	30.15	36.60	37.83	0.85	0.28	0.18
ITH ¹	70.51	78.83	76.58	71.94	79.54	78.02	0.27	0.01	0.95
Categoría	Confort	Peligro	Alerta	Confort	Peligro	Peligro	-	-	-

TC: Tipo de corral, H: Hora, TC*H: Interacción tipo de corral por hora; P: valor de probabilidad.

¹ITH= $[0.8 \times \text{temperatura ambiente}] + [(\% \text{ de humedad relativa} / 100) \times (\text{temperatura ambiente} - 14.4)] + 46.4$ [13].

Categorías térmicas: Confort ITH < 74; Alerta 75 > ITH < 78; Peligro 79 > ITH < 83; Emergencia ITH > 84.

Indicadores conductuales. El porcentaje de los indicadores conductuales de acuerdo con la hora del día y al tipo de corral se muestra en la tabla 2. El acceso al comedero se ve afectado por la hora del día al disminuir a las 8:00 y 12:00 e incrementar a las 16:00 h ($p < 0.01$) pero no hay efecto por tipo de corral. En el indicador habitual rumiar, relacionado con el acceso al comedero, se manifiesta efecto de hora del día y es similar a las 8:00 y 16:00 h, pero mayor a las 12:00 h ($p < 0.001$), sin presentarse efecto por tipo de corral. En cambio, en el acceso al agua, no se registró efecto de hora del día ni de tipo de corral ($p > 0.05$). Los indicadores habituales que tienen estrecha relación con los ciclos circadianos, como descansar, ya sea bovinos echados o de pie son mayormente observados las 12:00 y 16:00 h, respectivamente ($p < 0.01$), sin registrar efecto del tipo de corral. El comportamiento agonista relacionado con las montas se encuentra inhibido a las 8:00 y 12:00, y es incipiente, aunque manifiesto a las 16:00 h ($p < 0.04$), a la misma hora que se observan los topetazos ($p < 0.001$). El reflejo de Flehmen, no se expresó de acuerdo con la hora del día ($p > 0.05$), pero si por efecto de la sombra en el corral (2.9 vs. 1.1; $p < 0.01$). Se aprecia que el comportamiento social de los bovinos acicalándose, es más perceptible a las 16:00 h ($p < 0.001$), sin efecto del tipo de corral.

Tabla 2. Porcentajes de los indicadores conductuales de los bovinos en finalización intensiva por tipo de corral y hora del día en el trópico seco mexicano.

Indicadores Habituales	Tipo de corral	Hora			Promedio por corral	Probabilidad		
		8:00	12:00	16:00		S	H	S x H
Acceso al comedero ¹	CS	7.3	3.6	15.0	8.6	0.07	0.01	0.93
	SS	11.2 9.2 ^b	9.7 6.6 ^b	19.2 17.1 ^a	13.3			
Rumiar ²	CS	2.9	13.6	2.9	5.3	0.32	0.001	0.04
	SS	3.5 3.5 ^b	9.5 13.0 ^a	7.5 5.6 ^b	5.8			
Acceso al bebedero ²	CS	1.7	1.7	2.3	2.3	0.11	0.98	0.07
	SS	3.4 2.8 ^a	3.5 2.4 ^a	2.2 2.3 ^a	2.4			
Echados ¹	CS	30.6	68.7	17.9	39.1	0.62	0.01	0.16
	SS	43.9 37.3 ^{ab}	49.7 59.2 ^a	36.4 27.1 ^b	43.3			
De pie ¹	CS	59.2	31.3	82.1	57.6	0.92	0.02	0.22
	SS	56.1 57.7 ^{ab}	50.3 40.8 ^b	63.6 72.9 ^a	56.7			
Agonistas Montas ²	CS	0	0.6	4.0	1.1	0.27	0.04	0.26
	SS	1.2 0 ^b	0 0 ^b	1.7 2.4 ^a	0			
Topetazos ²	CS	1.7	1.7	6.9	2.3	0.71	0.001	0.84
	SS	2.3	1.2	5.1	2.4			

		2.2 ^b	1.2 ^b	5.8 ^a				
Flehmen ²	CS	2.3	2.9	2.9	2.9	0.01	0.52	0.21
	SS	1.7	0	1.7	1.1			
		1.7 ^a	0.6 ^a	2.3 ^a				
Sociales								
Acicalamientos ²	CS	4.2	5.3	8.1	5.2	0.30	0.001	0.23
	SS	4.6	2.4	7.7	4.6			
		4.6 ^b	3.5 ^b	7.6 ^a				

1= medias, 2= medianas; CS= con sombra, SS= sin sombra; S= sombra, H= hora

Espacio vital. La tabla 3 muestra los resultados de la disponibilidad de espacio vital en los corrales de finalización intensiva con sombra y corrales sin sombra. Se presentan con detalle los valores promedio correspondientes al espacio vital expresado en metros cuadrados por cabeza en ambos tipos de corral, así como la provisión de sombra, disponibilidad de comedero y bebedero.

Tabla 3. Espacio vital en los corrales de finalización intensiva de bovinos en el trópico seco mexicano durante el otoño.

Item,	Corrales c/sombra	Corrales s/sombra
Corrales	4	4
No. de bovinos por corral	86	86
Superficie disponible, m ²	970	1091
Espacio vital/cabeza, m ²	11.28	12.68
Sombra por corral, m ²	460	0.0
Área de sombra, m ² /cabeza	5.34	0.0
Longitud de comedero, m	27.5	41.5
Comedero disponible, cm/cabeza	31.9	48.2
Longitud de bebedero, m	3.1	3.1
Bebedero disponible, cm/cabeza	3.6	3.6

DISCUSIÓN

Indicadores climáticos. En el otoño en el trópico seco mexicano, los bovinos estuvieron en CONFORT térmico a las 8:00 h, que coincide cuando el valor de la temperatura ambiental promedio es de 23.6°C en ambos tipos de corral ($p < 0.05$). Sin embargo, a las 12:00 h, aunque disminuyó la humedad relativa, los bovinos alojados en los corrales con sombra (CCS), se encontraban en la categoría de PELIGRO térmico, al igual que los bovinos alojados en los corrales sin sombra (CSS) cuando la temperatura ambiental promedio es de 31.7°C en ambos tipos de corral, 8.1°C más con respecto a la temperatura registrada a las 8:00 h, es decir, esta diferencia de temperatura ambiental significa el incremento del ITH y se refleja en el cambio de categoría térmica de CONFORT a PELIGRO. A las 16:00 h, la temperatura ambiental disminuyó 1.74°C en CCS, lo que se manifiesta en el cambio de categoría de PELIGRO a ALERTA térmica, pero en CSS se elevó la temperatura ambiental de 31.82 a 32.96°C, por lo que la categoría térmica permanece en PELIGRO dada la persistencia calórica por la falta de sombra. Al respecto Renaudeau et al (18), refieren que los factores ambientales adversos afectan de forma negativa la zona de confort térmico del ganado bovino y que al combinarse con alta humedad relativa (superior al 40%), incrementan la carga calórica para el organismo animal que

ocasiona la modificación del comportamiento conductual. En tal sentido, se ha determinado que en las regiones tropicales donde la persistencia de la elevada temperatura y humedad relativa es común, significa un reto a la fisiología termorreguladora de los bovinos, de tal manera que debido a la combinación de ambos factores el estrés térmico ocasiona una interacción compleja entre la fisiología y el comportamiento del bovino, porque se agrega un componente dinámico en la transferencia de calor y el balance térmico para mantener la temperatura corporal (19).

Indicadores conductuales. La relación de la conducta con el bienestar animal ha sido por mucho tiempo uno de los aspectos más debatidos (20). La modificación conductual de los bovinos productores de carne, sucede en función de factores ambientales entre los que destaca la temperatura superior a la zona termo neutral y la combinación con la radiación solar sumada con una elevada humedad relativa, genera un aumento en la carga calórica (21); sin embargo los tipos raciales *Bos indicus* y *Bos taurus*, manifiestan una gran habilidad para mantener su homeostasis, pero bajo situaciones de estrés calórico puede haber alteraciones en su conducta habitual (22). En este sentido Dawkins (23) asegura que el impedimento para manifestar un comportamiento natural es atribuido a las condiciones de alojamiento y a las prácticas de manejo; por tal razón, el comportamiento conductual como indicador de bienestar de los bovinos se basa en la realización de ciertas conductas, de tal manera que cuando el valor del ITH en los espacios físicos indica estado de peligro a emergencia térmica debida a las condiciones e calor extremo, los bovinos reducen el acceso al comedero e incrementan su acceso al bebedero (13) lo que también depende de la hora del día en función del ITH; esto se refiere a que en estado de peligro térmico, se reducen las actividades habituales que incluyen beber agua, comer y desplazarse. Para contrarrestar los efectos del calor excesivo los bovinos alteran su comportamiento habitual y el comportamiento agonista tiende a reducirse, aunque en el presente estudio, la sombra en el corral de engorde pudo motivar el incremento de esta expresión manifiesta como reflejo de Flehmen; también como consecuencia de las situaciones debidas al estrés por calor los bovinos disminuyen el tiempo dedicado a consumir alimento y en el que permanecen echados y por otra parte, se incrementa el tiempo destinado al consumo de agua por lo que permanecen de pie más cerca de los bebederos (24). En referencia al indicador rumiando, la menor expresión puede deberse a que dedican el tiempo para alimentarse y posteriormente se enfocan en el desarrollo de actividades diversas, en este contexto la frecuencia de la rumia disminuye; sin embargo, a las 12 h en CSS se incrementó la rumia en referencia a las 8:00 y 16:00 h, relacionado con la servida del alimento en horario matutino; aunque en esta variable habitual se observó diferencia en su expresión, el valor registrado se encuentra disminuido. Una posible explicación a la disminución de esta conducta puede

ser atribuida a que los bovinos se encuentran en Peligro Térmico (>78 unidades) y una manera eficaz de disipar el calor metabólico consiste en la redistribución del flujo sanguíneo hacia la superficie corporal; en sí, la rumia, de manera natural produce calor que compromete la estabilidad fisiológica del bovino (25). En estos patrones de comportamiento bovino, el acicalamiento es una conducta social positiva que está directamente relacionado como un indicador del bienestar de los bovinos y en el presente estudio se registró como la manifestación conductual que ocurre con mayor frecuencia entre individuos que coexisten en el mismo entorno social.

Espacio vital. En el diseño de corrales para finalización intensiva de bovinos, un aspecto importante a considerar es el otorgar el espacio mínimo necesario que asegure el bienestar y la libre expresión de los indicadores conductuales y que conforme a las condiciones climáticas garantice el confort en un espacio físico (26). Se recomienda que el espacio vital para un bovino adulto en climas tropicales sea de 18.5 m² (27); en el presente estudio el espacio vital es 7.22 m² menor en CCS y 5.82 m² menor en CSS, por lo que se sugiere incrementar el espacio vital conforme aumente el peso del ganado en confinamiento, debido a que el espacio reducido pone en situación de riesgo a los indicadores de bienestar de bovinos en finalización intensiva (28).

En CCS la disponibilidad de sombra es de 5.34 m² por bovino, mayor en 1.84 m² a la recomendada (29). Pero, por otro lado, en CSS al no contar con ningún tipo de protección, expone a los bovinos a las severidades climáticas propias de las zonas tropicales donde la radiación solar, la temperatura ambiente y la alta humedad relativa, inciden de manera negativa en la zona termoneutral e incrementa la carga calórica (22), que compromete el bienestar de los bovinos alojados bajo estas condiciones climáticas en estas instalaciones. El espacio disponible de comedero muestra disparidad que va de 31.9 a 48.2 cm, que contrasta con lo sugerido de 45 a 70 cm por bovino de acuerdo con la etapa de crecimiento; en cambio, el bebedero disponible cumple con las especificaciones técnicas para la provisión apropiada de agua potable que contribuye a la persistencia de los indicadores de bienestar de los bovinos; los lineamientos técnicos establecen entre 3 y 4 cm/bovino o bien especifican una relación de 10 cabezas por 30 cm (27). Al mejorar las condiciones de alojamiento, espacio vital y disponibilidad de sombra, los bovinos expresan mayor estado de confort el cual es valorado a través del comportamiento conductual (29). Cuando el ganado bovino manifiesta disconfort térmico como consecuencia del estrés por calor ya sea como resultado de la combinación de distintos componentes entre los que se incluyen a las condiciones ambientales, la susceptibilidad individual y el manejo del rebaño (23), en conjunto se afecta el bienestar del ganado bovino si no se corresponde con estrategias de

mitigación, ya que el ambiente térmico cálido puede influir de manera negativa en el ganado productor de carne; en tal situación el confort y la productividad pueden comprometerse durante el periodo de exposición a las condiciones medio ambientales adversas (30).

En conclusión, la expresión diurna de la conducta de los bovinos relacionada con el factor climático y la provisión de sombra puede ser inhibida en las horas de más alta influencia calórica expresada en el Índice de Temperatura y Humedad.

Agradecimientos.

Los autores agradecen a Agropecuaria JS SA de CV las facilidades otorgadas para realizar la investigación.

Conflicto de intereses y financiación.

Los autores del presente documento se manifiestan sin conflicto de intereses en la ejecución del proyecto de investigación. El financiamiento corresponde al apoyo otorgado por CONACYT-México al primer autor.

REFERENCIAS

- 1 Miranda de la Lama GC. Transporte y logística pre-sacrificio: principios y tendencias en bienestar animal y su relación con la calidad de la carne. *Vet Mex.* 2013; 44(1):31-56. <http://veterinariamexico.unam.mx/index.php/vet/article/view/328>
- 2 Mota-Rojas D, Velarde A, Huertas CS, Cajiao-Pachon MN. Bienestar animal, una visión global en Iberoamérica. Tercera edición. Barcelona, España: Editorial ELSEIVIER-SPAIN. 2019.
- 3 Schneider L, Kemper N, Spindler B. Stereotypic behavior in fattening bulls. *Animals.* 2019. 10(1):40 <https://doi:10.3390/ani10010040>
- 4 Romo-Valdez A, Pérez-Linares C, Figueroa-Saavedra F, Portillo-Loera J, Ríos-Rincón F. Behavioral response of beef cattle in feedlot in warm desert environment. *Abanico Vet.* 2019. 9:1-18 <https://doi.org/10.21929/abavet2019.928>
- 5 Brody S. Circadian Rhythms. In Brenner's Encyclopedia of Genetics (Second Edition). 2013. www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/circadian-rhythm.
- 6 Robert BD, White BJ, Renter DG, Larson RL. Determination of lying behavior patterns in healthy beef cattle by use of wireless accelerometers. *Am J Vet Res.* 2011; 72(4):467-473. <https://doi.org/10.2460/ajvr.72.4.467>
- 7 Grandin T. Evaluation of the welfare of cattle housed in outdoor feedlot pens. *Vet Anim Sci* 2016; 1-2:23-28. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2016.11.001>
- 8 Macitelli F, Braga JS, Gellatly D, da Costa MP. Reduced space in outdoor feedlot impacts beef cattle welfare. *Animal.* 2020; 14:2588-2597. <https://doi.org/10.1017/S1751731120001652>
- 9 Wagner N, Mialon MM, Sloth KH, Lardy R, Ledoux D, Silberberg M, et al. Detection of changes in the circadian rhythm of cattle in relation to disease, stress, and reproductive events. *Methods.* 2021; 186:14-21. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2020.09.003>

- 10 Li H, Li K, Zhang K, Li Y, Gu H, Liu H, et al. The Circadian Physiology: Implications in Livestock Health. *Int J Mol Sci.* 2021; 22(4):2111. <https://doi.org/10.3390/ijms22042111>
- 11 Manterola C, Otzen T. Estudios observacionales. Los diseños utilizados con mayor frecuencia en investigación clínica. *Int J Morphol.* 2014; 32(2):634-645. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022014000200042>
- 12 García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México; 2004.
- 13 Mader TL, Davis MS, Brown-Brandl T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J Anim Sci.* 2006; 84(3):712-719. <https://doi:10.2527/2006.843712x>
- 14 Marti S, Devant M, Amatayakul-Chantler S, Jackson JA, Lopez E, Janzen ED, et al. Effect of anti-gonadotropin-releasing factor vaccine and band castration on indicators of welfare in beef cattle. *J Anim Sci.* 2015 93(4):1581–1591. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8346>
- 15 Sader-Senasica. Manual de Buenas Prácticas en la Producción de Carne de Ganado Bovino en Confinamiento. 2014. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/454442/manual_de_BPP-BOV-CONFINAMIENTO.pdf
- 16 Daniel WW. Bioestadística. Bases para el análisis de las ciencias de la salud. 3ra. Edición. Editorial LIMUSA SA de CV. México, D.F. 2002.
- 17 SAS Institute. Statistical Analysis Software; 2023. https://www.sas.com/es_mx/software/on-demand-for-academics.html
- 18 Renaudeau D, Collin A, Yahav S, Basilio V, Gourdine JL, Collier RJ. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal.* 2012; 6(5):707-728. <http://dx.doi.org/10.1017/S1751731111002448>
- 19 Brown-Brandl TM. Understanding heat stress in beef cattle. *Braz J Anim Sci.* 2018; 47:e20160414 <https://doi.org/10.1590/rbz4720160414>
- 20 Arndt SS, Goerlich VC, van der Staay FJ. A dynamic concept of animal welfare: The role of appetitive and adverse internal and external factors and the animal's ability to adapt to them. *Front Anim Sci.* 2022; 3:908513 <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.908513>

- 21 Beretta V, Simeone A, Bentancur O. Manejo de la sombra asociado a la restricción del pastoreo: efecto sobre el comportamiento y performance estival de vacunos. *Agrociencia Uruguay*. 2013; 17(1):131-140. <http://www.fagro.edu.uy/agrociencia/index.php/directorio/article/view/766>
- 22 Beatty DT, Barnes A, Taylor E, Pethick D, McCarthy DM, Maloney SK. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *J Anim Sci*. 2006. 84(4):972-985. <https://doi.org/10.2527/2006.844972x>
- 23 Dawkins MS. Behaviour as a tool in the assessment of animal welfare. *Zoology (Jena)*. 2003; 106(4):383-387. <https://doi:10.1078/0944-2006-00122>
- 24 Brown-Brandl TM, Nienaber JA, Eigenberg RA, Mader TL, Morrow JL, Dailey JW. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livest. Sci*. 2006; 105(1):19-26. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.012>
- 25 Valente ÉEL, Chizzotti ML, Ribeiro OCV, Castlho GM, Domingues SS, Castro RA, et al Intake, physiological parameters and behavior of Angus and Nellore bulls subjected to heat stress. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*. 2015; 36(6):4565-4574. <https://doi:10.5433/1679-0359.2015v36n6Supl2p4565>
- 26 Salvin HE, Lees AM, Café LM, Colditz IG, Lee C. Welfare of beef cattle in Australian feedlots: a review of the risks and measures. *Anim Prod Sci*. 2020; 60:1569-1590. <https://doi.org/10.1071/AN19621>
- 27 Lagos GH, González FJ, Castillo FR. Paquete tecnológico para la engorda de ganado bovino en corral. 2014. https://www.academia.edu/23143240/PAQUETE_TECNOLOGICO_PARA_LA_ENGORDA_DE_GANADO_BOVINO_EN_CORRAL
- 28 Gallo C, Tabilo B, Navarro G, Phillips C. Minimum space requirements for cattle: An approach based on photographic records. *Veterinary Records*. 2023; 192(9): e2780. <https://doi.org/10.1002/vetr.2780>
- 29 Park RM, Foster M, Daigle CL. A scoping review: the impact of housing systems and environmental features on beef cattle welfare. *Animals*. 2020; 10:565. <https://doi.org/10.3390/ani10040565>

- 30 Lees AM, Sejian V, Wallage AL, Steel CC, Mader TL, Lees JC, et al. The impact of heat load on cattle. *Animals*. 2019; 9(6):322. <https://doi.org/10.3390%2Fani9060322>

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES GENERALES

En los sistemas de producción intensiva de carne bovina es necesario considerar al menos tres aspectos que influyen directamente en el bienestar de los bovinos en confinamiento. Uno de estos aspectos se refiere a las condiciones de alojamiento durante la permanencia del ganado en el corral de engorda y esto se refiere a proveer de espacio vital considerando el peso inicial y final de los bovinos, así como el área de sombra disponible por cabeza y la disponibilidad del área de comedero en referencia al número de bovinos y al cambio de estructura corporal en función del aumento de peso durante su estadía en el corral de engorda. Otro aspecto que se considera pertinente, consiste en valorar las condiciones del ambiente físico que afecta directamente el confort y el comportamiento de los bovinos; el estado de bienestar se modifica porque depende de las condiciones ambientales prevalencientes en condiciones climáticas cálidas cuando éstas superan el límite de termoneutralidad.

No menos importante, el comportamiento agonista es una herramienta que puede ser utilizada para valorar el bienestar de los bovinos, así como su comportamiento conductual diurno.

Finalmente, el conjunto de estos factores influye directamente en la calidad ética de la producción y en la reducción de indicadores productivos que pudiesen afectar la rentabilidad de la empresa pecuaria.

CAPÍTULO 7: LITERATURA CITADA

- Abduch, N.G., Pires, B.V., Souza, L.L., Vicentini, R.R., Zadra, L.E.F., Fragomeni, B.O., Silva, R.M.O., Baldi, F., Paz, C.C.P., Stafuzza, N.B. 2022. Effect of thermal stress on thermoregulation, hematological and hormonal characteristics of Caracu Beef cattle. *Animals*. 12:3473. <https://doi.org/10.3390/ani12243473>
- Albright, J., Arave, C. 1997. Behavior responses to management systems. In: *The Behaviour of Cattle*. CAB International, Oxon, UK, Pp 127-153.
- 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*. 98:118-127. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7704>
- Alonso, M. E., González-Montaña, J. R., Lomillos, J. M. 2020. Consumers' concerns and perceptions of farm animal welfare. *Animals*, 10(3), 385. DOI: 10.3390/ani10030385
- Aluja, A. 2011. Bienestar animal en la enseñanza de Medicina Veterinaria y Zootecnia. ¿Por qué y para qué? *Veterinaria México*. 42:137-147. ISSN: 0301-5092.
- 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*. 40:7-22. ISSN: 0301-732X DOI: 10.4067/S0301-732X2008000100002
- Arias, R.A., Mader, T.L. 2023. Evaluation of four thermal comfort indices and their relationship with physiological variables in feedlot cattle. *Animals*. 13:1169. <https://doi.org/10.3390/ani13071169>
- Arndt, S.S., Goerlich, V.C., van der Staay, F.J. 2022. A dynamic concept of animal welfare: The role of appetitive and adverse internal and external factors and the animal's ability to adapt to them. *Frontiers Animal Science*. 3:908513 <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.908513>
- Barajas, C.R., Cervantes, B.J., Espino, M.A., Flores, L.R., Aguirre, J.A., Martínez, S., García, D.E. 2010a. Efecto de sombra en el corral de engorda en la respuesta productiva de toretes en finalización de la época calurosa. *Zootecnia Tropical*. 28: 513-520. ISSN 0798-7269

- Barajas, C.R., Pacheco, B.J.C., Elenes, E.A.V., Rubio, J.A.R., Ortega, J.A., González, S.M. 2010b. Efecto de sombra en el corral de engorda en la respuesta productiva de toretes en finalización de la época fresca y seca. *Zootecnia Tropical*. 28:375-381. ISSN 0798-7269
- Barajas, C.R., Garces, P., Zinn, R.A. 2013. Interactions of shade and feeding management on feedlot performance of crossbred steers during seasonal periods of high ambient temperature. *The Professional Animal Scientist*. 29:645–651. doi:10.15232/s1080-7446(15)30296-5
- Beatty, D.T., Barnes, A., Taylor, E., Pethick, D., McCarthy, D.M., Maloney, S.K. 2006. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *Journal of Animal Science*. 84:972–985. DOI: 10.2527/2006.844972x.
- Bernabucci, U., Lacerera 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. ISSN: 1751-7311 DOI: 10.1017/S175173111000090X
- Bianca, W. 1968. Thermoregulation. In: Hafez ES (ed). *Adaptation of Domestic Animals*. Lea & Febiger, Philadelphia, USA, Pp 97-118.
- Blaine, K.L., Nsahlai I.V. 2011. The effects of shade on performance, carcass classes and behaviour of heat-stressed feedlot cattle at the finisher phase. *Tropical Animal Health Production*. 43:609-615. ISSN: 0049-4747 DOI: 10.1007/s11250-010-9740-x
- Blackshaw, J. 2003. Notes on some topics in applied animal behaviour. Third edition. Queensland, AU, University of Queensland. Updated in 2003. Disponible en: <http://www.animalbehaviour.net/JudithKBlackshaw/JKBlackshawWholeBook.pdf>. Consultado: 02 de febrero de 2022.
- Broadway, P.R., Mauget, S.A., Burdick Sanchez, N.C., Carroll, J.A. 2020. Correlation of ambient temperature with feedlot cattle morbidity and mortality in the Texas Panhandle. *Frontiers in Veterinary Science*. 7: 413. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00413>

- Brody, S. 2013. Circadian Rhythms. In Brenner's Encyclopedia of Genetics (Second Edition). Disponible en: www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/circadian-rhythm.. ISBN: 9780123749840. Consultado: 15 de enero de 2021.
- Broom, D.M, 1986. Indicators of poor welfare. *British Veterinary Journal*. 142: 524-526. [http://dx.doi.org/10.1016/0007-1935\(86\)90109-0](http://dx.doi.org/10.1016/0007-1935(86)90109-0)
- 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. ISSN: 1537-5110 DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2004.12.006
- Brown-Brandl, T.M., Nienaber, J.A., Eigenberg, R.A., Mader, T.L., Morrow, J.L., Dailey, J.W. 2006a. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livestock Science*. 105:19-26. ISSN: 1871-1413 DOI: 10.1016/j.livsci.2006.04.012
- Brown-Brandl, T.A., Eigenberg, R.A., Nienaber, J.A. 2006b. Heat stress risk factors of feedlot heifers. *Livestock Science*. 105:57-68. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.025>
- Brown-Brandl, T.M., 2018. Understanding heat stress in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*. DOI: <https://doi.org/10.1590/rbz4720160414>.
- Caba, M. 2015. Ritmos Circadianos en la Reproducción. *Revista Ciencia*. Página 46-51. https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/66_4/PDF/Ritmos.pdf Consultado: 15 de enero de 2022.
- Canosa, M., Acuña, C. 1996. Comportamiento bovino. Facultad de Agronomía y Veterinaria. UNR C. https://www.produccion-animal.com.ar/etologia_y_bienestar/etologia_bovinos/62-comportamiento_bovino.pdf. Consultado: 20 de febrero de 2021.
- Castro, P.B., Estrada, A.A., Ríos, R.F., Núñez, B.V., Rivera, M.C., Urías, E.D., et al. 2020. The influence of shade allocation or total shade plus overhead fan on growth performance, efficiency of dietary energy utilization, and carcass characteristics of feedlot cattle under tropical ambient conditions. *Asian-Australas*

Journal Animal Science. Vol. 33, No. 6:1034-1041. pISSN 1011-2367 eISSN 1976-5517.

- Collier, R.J., Dahl, G.E., VanBaale, M.J. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal Dairy Science*. 89:1244-1253. ISSN: 0022- 0302 DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72193-2
- Davis, M.K., Engle, T.E., Cadaret, C.M., Cramer, C., Bigler, L.B., Wagner, J.J., Edwards-Callaway, L.N. 2022. Characterizing heat mitigation strategies utilized by beef processors in the United States. *Translational Animal Science*, 2022, 6, 1–8 <https://doi.org/10.1093/tas/txab231>
- Dias Coimbra, P.A., Pinheiro Machado, L.C., Hötzel, M.J. 2012. Effects of social dominance, water trough location and shade availability on drinking behaviour of cows on pasture. *Applied Animal Behaviour Science*. 139:175-182. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.04.009>
- Di Marco, N., Aello, S. 2002. Costo energético de la actividad de vacunos en pastoreo y su efecto en la producción. Disponible en: Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria (INTA) http://www.anterior.inta.gob.ar/f/?url=http://anterior.inta.gob.ar/balcarce/info/documentos/ganaderia/bovinos/nutricion/costo_energ.htm. Consultado: 11 de junio de 2019.
- Do Nascimento Barreto, A., Junior, W.B., Pezzopane, J.R.M., de Campos Bernardi, A.C., de Faria Pedroso, A., Marcondes, C.R., Garcia, A.R. 2022. Thermal comfort and behavior of beef cattle in pasture-based systems monitored by visual observation and electronic device. *Applied Animal Behaviour Science*. 253, 105687. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105687>
- Edwards-Callaway, L.N., Cramer, M.C., Cadaret, C.N., Bigler, E.J., Engle, T.E., Wagner, J.J., Clark, D.L. 2021. Review: Impacts of shade on cattle well-being in the beef supply chain. *Journal of Animal Science*. 92:1-21. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa375>
- Esquivel Lacroix, C. 2015. Comentarios sobre bienestar animal. *Red animalia*. Disponible en: <http://redanimalia.com/>. Consultado: 8 de marzo de 2018.

- Franco Pereira, A.M., Titto, E.L., Infante, P. Titto, C.G., Geraldo, A.M., Alves, A., Leme, T.M., Baccari Jr. F., Almeida, J. 2014. Evaporative heat loss in *Bos taurus*: Do different cattle breeds cope with heat stress in the same way? *Journal of Thermal Biology*. 45:87-95.
- Fraser, A.F, Broom, D.M. 1990. *Farm animal behaviour and welfare*. 3a ed. London: Baillière Tindall. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/309464683_Farm_Animal_Behaviour_and_Welfare. ISBN:9780851991603
- Foris, B., Zebunke, M., Langbein, J., Melzer, N. 2019. Comprehensive analysis of affiliative and agonistic social networks in lactating dairy cattle groups. *Applied Animal Behaviour Science*. 210, pp 60-67. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.10.016>.
- Galli, R., Cangiano, A., Fernández, H. 1996. Comportamiento ingestivo y consumo de bovinos en pastoreo. *Revista Argentina de Producción Animal*. 16 (2): 119-42. ISSN 0122-8706
- Gaughan, J.B., Holt, S., Hahn, G.L., Mader, T.L., Eigenberg, R. 2000. Respiration rate: Is it a good measure of heat stress in cattle?. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 13(Supplement Vol C), 329-332.
- Gaughan, J.B., Bonner, S., Loxton, I., Mader, T.L., Lisle, A., Lawrence, R. 2010. Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *Journal of Animal Science*. 88:4056-4067. ISSN: 1525-3163 DOI:10.2527/jas.2010-2987
- Gaughan, J.B., Mader, T.L. 2014. Body temperature and respiratory dynamics in unshaded beef cattle. *International Journal of Biometeorology*. 58:1443–1450. DOI 10.1007/s00484-013-0746-8
- Gasque, G.R. 2008. *Enciclopedia bovina*. Editorial Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 437p. ISBN: 978-970-32-4359-4
- Grandin, T. 2016. Evaluation of the welfare of cattle housed in outdoor feedlot pens. *Veterinary and Animal Science*. 1:23-28. ISSN: 2451-943X DOI: 10.1016/j.vas.2016.11.001
- Ha. J.J., Yang, K.L., Oh, D.Y., Yi, J.K., Kim, J.J. 2018. Rearing characteristics of fattening Hanwoo steers managed in different stocking densities (R). *Asian-*

- Australasian Journal of Animal Science. 31:1714-1720. ISSN: 1011-2367. DOI: doi.org/10.5713/ajas.17.0451
- Hernandez, A., Galina, C.S., Geffroy, M., Jung, J., Westin, R., Berg, Ch. 2022. Cattle welfare aspects of production systems in the tropics. Animal Production Science. 62:1203-1218. <https://doi.org/10.1071/AN20230>
- Herzog, E.D. 2007. Neurons and networks in daily rhythms. Nature Reviews Neuroscience. 8: 790–802. <https://doi.org/10.1038/nrn2215>
- Hughes, B.O. 1976. Behaviour as an index of welfare. Proceedings 5th European Poultry Conference and exhibition; September 5–11; Malta. Malta: World's Poultry Science Association (WPSA), 1005-1012.
- Idris, M., Gay, C.C., Woods, I.G., Sullivan, M., Gaughan, J.B., Phillips, C.J.C., 2023. Automated quantification of the behaviour of beef cattle exposed to heat load conditions. Animals. 13: 1125. <https://doi.org/10.3390/ani13061125>
- Islam, M.A., Lomax, S., Doughty, A.K., Islam, M.R., Clark, C.F.E. 2021. Timing of eating during transition impacts feedlot cattle diet and live weight gain. Animal. 3: 00137. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100137>
- Kilgour, R.J., Uetake, K., Ishiwata, T., Melville, G.J. 2012. The behaviour of beef cattle at pasture. Applied Animal Behaviour Science. 138 (1-2): 12-17. DOI: 10.1016/j.applanim.2011.12.001
- Lee, S.M., Kim, J.Y., Kim, E.J. 2012. Effects of stocking density or group size on intake, growth, and meat quality of Hanwoo steers (*Bos taurus coreanae*). Asian-Australasian Journal of Animal Science. 25(11):1553-1558. ISSN: 1011-2367 DOI: 10.5713/ajas.2012.12254
- Lees, M., Sejian, V., Wallage, L., Cameron, C., Steel., Terry, L., Mader., Jarrod C., Lees., Gaughan, B. 2019. The impact of heat load on cattle. Animals. 9:322. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9060322>
- Lees, A.M., Lees, J.C., Sejian, V., Sullivan, M.L., Gaughan, J.B. 2020. Influence of shade on panting score and behavioural responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* feedlot cattle to heat load. Animal Production Science. 60:305-315. <https://doi.org/10.1071/AN19013>

- Mader, T.L., Holt, S.M., Hahn, G.L., Davis, M.S., Spers, D.E., 2002. Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 2373–2382. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2007.03.023>
- Mader, T.L., Davis, M.S., Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 84:712-719. <https://doi.org/10.2527/2006.843712x>
- Mader, T., Griffin, D., Hahn, L. 2007. Managing feedlot heat stress. Institute of Agriculture and Natural Resources. University of Nebraska-Lincoln. <http://extensionpublications.unl.edu/assets/html/g1409/build/g1409.htm>
- Meat and Livestock Australia. 2002. Understanding excessive heat load in feedlot cattle. On farm tips & tools. Feedlot FL11, Australia.
- Mellor, D.J., Beausoleil, N.J., Littlewood, K.E., McLean, A.N., McGreevy, P.D., Jones, B., Wilkins, C. 2020. The 2020 five domains model: Including human–animal interactions in assessments of animal welfare. *Animals*. 10(10): 1870. <https://doi.org/10.3390/ani10101870>
- Menaker, M. 2006. Circadian organization in the real world. *Proceedings of the National Academy Sciences*. USA 103, 3015–3016. DOI:10.1073/pnas.0600360103
- Mittlöhner, F.M., Morrow, J.L., Dailey, J.W., Wilson, S.C., Galyean, M.L., Miller, M.F., McGlone, J.J. 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 79:2327-2335. ISSN: 1525-3163 DOI: 10.2527 / 2001.7992327x
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M.S., Bernabucci, U. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*. 130:57-69. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>
- O'Neill, J.S., Reddy, A.B. 2011. Circadian clocks in human red blood cells. *Nature* 469, 498–503. DOI:10.1038/nature09702
- OIE. 2013. Bienestar animal: Introducción a las recomendaciones para el bienestar de los animales. www.oie.int. Consultado: 02 de enero de 2019.
- Organización Mundial de Sanidad Animal. 2016. Código Sanitario para los Animales Terrestres de la OIE. Disponible en: <http://www.oie.int/es/bienestar-animal/el-bienestar-animal-de-un-vistazo/> Consultado: 01 de agosto de 2018.

- Park, R.M., Foster, M., Daigle, C.L. 2020. A scoping review: The impact of housing systems and environmental features on beef cattle welfare. *Animals*. 10, 565; doi:10.3390/ani10040565
- Petryna, A, Bavera, G.A. 2002. Etología: Cursos de Producción Bovina de Carne. FAV UNRC [Internet]. 1-2: [aprox 1 p.]. Disponible en: http://www.produccionbovina.com/etologia_y_bienestar/etologia_en_general/07-etologia.pdf Consultado: 10 de septiembre de 2022.
- Provenza, F.D., Pfister, J.A., Cheney, C.D. 1992. Mechanisms of learning in diet selection with reference to phytotoxicosis in herbivores. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 45(1): 36-45. <https://digitalcommons.usu.edu/grcanyon/107/> Consultado: 03 de enero de 2021.
- Rivkees, A. 2007. The development of circadian rhythms: From animals to humans. *Sleep Medicine Clinics*. 27 (3): 217-25. DOI: 10.1016/j.jsmc.2007.05.010
- Redbo, I. 1990. Changes in duration and frequency of stereotypies and their adjoining behaviours in heifers, before, during and after the grazing period. *Applied Animal Behaviour Science*. 26, 57–67. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(90\)90087-T](https://doi.org/10.1016/0168-1591(90)90087-T)
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., Basilio, V., Gourdine, J. L., Collier, R. J. 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*. 6(5):707-728. ISSN: 1751-7311 DOI: 10.1017/S1751731111002448
- Rhoads, R.P., Baumgard, L.H., Suagee, J.K., Sanders, S.R. 2013. Nutritional interventions to alleviate the negative consequences of heat stress. *Advances in Nutrition*. 4:267-276. <https://doi.org/10.3945/an.112.003376>
- Romo-Valdez, A., Pérez, L.C., Figueroa, S.F., Portillo, L.J., Ríos, R.F. 2019. Respuesta conductual de bovinos productores de carne en finalización intensiva en clima desértico cálido. *Abanico Veterinario*. 9:1-18. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2019.928>
- Romo-Valdez, A.M., Portillo, L.J.J., Urías, E.J.D., Estrada, A.A., Castro, P.B.I., Ríos, R.F.G. 2022. Panting frequency and score in beef cattle in intensive finishing during summer in the dry tropics. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 13:559-572 <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5977>

- Rothenburger, J. 2017. Circadian ryhythm research applies to livestock health. The Western Producer. Disponible en: producer.com/livestock/circadian-rhythm-research-applies-to-livestock-health/. Consultado: 04 de febrero de 2021.
- Sanmiguel, P.R.A., Díaz, A.V. 2011. Mecanismos fisiológicos de la termorregulación en animales de producción. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*. 4:88-94. <https://revistas.ut.edu.co/index.php/ciencianimal/article/view/148>. Consultado: 04 de febrero de 2021.
- Scherf, B.D. 2000. World watch list for domestic animal diversity. 3rd ed (Rome: Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations).
- Schneider, L., Kemper, N., Spindler, B. 2019. Stereotypic Behavior in Fattening Bulls. *Animals* 10:40 doi: 10.3390/ani10010040.
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*. 67(1):1-18. ISSN: 0301-6226. DOI: 10.1016/S0301-6226(00)00162-7
- Singh, S.V., Kumar, S. 2018. Circadian rhythm and their significance in relation to physiological functions of animals: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 2018; 6(4): 1861-1866. ISSN: 2320-7078.
- Soriani, N., Panella, G., Calamari, L. 2013. Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *Journal of Dairy Science*. 96:5082-5094. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6620>
- Stackhouse-Lawson, K.R., Tucker, C.B., Calvo-Lorenzo, M.S., Mitloehner, F.M. 2015. Effects of growth-promoting technology on feedlot cattle behavior in the 21 days before slaughter. *Applied Animal Behaviour Science*. 162, pp. 1-8. DOI: 10.1016/j.applanim.2014.11.001
- Sowell, B.F., Mosley, J.C., Bowman, J.G.P. 2000. Social behaviour of grazing beef cattle: implications for management. *Journal of Animal Science*. 77(E-Suppl), pp. 1-6. <http://dx.doi.org/10.2527/jas2000.00218812007700ES0021x>
- Suárez, H., Aranda, G. 2014. Importancia de la innovación para mejorar la productividad en los sistemas de cría de becerros. *Avances en Investigación Agropecuaria* 18:65-73. ISSN: 0188-7890

- Sullivan, M.L., Cawdell-Smith, A.J., Mader, T.L., Gaughan, J.B. 2011. Effect of shade area on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 89:2911-2925. ISSN: 1525-3163 DOI: 10.2527/jas.2010-3152
- Temple, D., Manteca, X. 2020. Animal welfare in extensive production systems is still an area of concern. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 4: 545902. DOI: 10.3389/fsufs.2020.545902
- Thornton, P., Nelson, G., Mayberry, D., Herrero, M. 2021. Increases in extreme heat stress in domesticated livestock species during the twenty- first century. *Global Change Biology*. 27:5762–5772. DOI: 10.1111/gcb.15825
- Valadez-Noriega, M., Mendez-Gomez-Humarán, M.C., Rayas-Amor, A.A., Sosa-Ferreyra, C.F., Galindo, F., Miranda-de la Lama, G.C. 2019- Effects of greenhouse roofs on thermal comfort, behaviour, health, and finishing performance of commercial Zebu steers in cold-arid environments. *Journal of Veterinary Behavior*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2019.10.012>. DENTRO DEL DOCUMENTO ESTA Valdez Noriega
- Valadez, M., Miranda de la Lama, G.C. 2023. Heat stress in cattle. *Animal Behaviour and Welfare Cases*. <https://doi.org/10.1079/abwcases.2023.0005>
- Welfare Quality® Consortium. 2009. Welfare Quality® Assessment protocol for cattle. Coordinator Veehouderij ASG, Lelystad BV. The Netherland. <http://edepot.wur.nl/233467>