

Universidad Autónoma de Sinaloa
Colegio en Ciencias Agropecuarias
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Maestría en Ciencias Agropecuarias



TESIS:

Efecto del diseño de corral, clase de ganado y temporada del año en la respuesta productiva en bovinos de corral de engorda en el trópico seco

Que para obtener el grado de Maestría en Ciencias Agropecuarias

PRESENTA:

MVZ María Fernanda Ureña Zatarain

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón

CODIRECTORA DE TESIS

Dra. Armida Sánchez Escalante

ASESORES

Dr. Jesús José Portillo Loera

Dr. Gastón Ramón Torrescano Urrutia

Dr. Alfredo Estrada Angulo

Culiacán de Rosales, Sinaloa, México; diciembre de 2024



Dirección General de Bibliotecas
Ciudad Universitaria
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57
dgbuas@uas.edu.mx

UAS-Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional Buelna

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



DEDICATORIA

A mi padre desde pequeña me enseñaste que el estudio es la clave del éxito; hoy, mi logro es un homenaje a tu sabiduría.

A mi valiente mamá mi fuente inagotable de fortaleza y amor, tus palabras de aliento, perseverancia y tu ejemplo han sido mi inspiración.

A mis hermanas ustedes me han demostrado que la vida es más bonita cuando se comparte, gracias por ser mis compañeras en cada paso que doy.

A mi esposo tu amor y apoyo incondicional han sido mi motor para seguir adelante, gracias por creer en mí.

A mi abuela Lilia, aunque ya no estés con nosotros, tu memoria sigue siendo una fuente de amor y guía.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a mi director de tesis el Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón, quién a pesar de las dificultades impuestas por la pandemia, siempre estuvo disponible para guiarme y compartir sus valiosos conocimientos.

También quiero agradecer al Dr. Jesús José Portillo Loera, por su contribución en las clases de Bioestadística durante la Maestría y su apoyo que fue fundamental en mi proyecto de investigación, de igual manera al Dr. Alfredo Estrada Angulo por su decidido apoyo para el desarrollo de este proyecto; así mismo a la Dra. Armida Sánchez Escalante y al Dr. Gastón Ramón Torrescano Urrutia, por su contribución en mi estancia académica en CIAD Hermosillo y su valioso tiempo para este proyecto.

A todos los docentes que estuvieron presentes en mi formación como Maestra en Ciencias Agropecuarias por sus conocimientos, enseñanzas y apoyo incondicional.

Asimismo, agradezco a la Coordinación de Posgrado de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por brindarme la educación y oportunidades que han moldeado mi carrera profesional.

Finalmente, quiero reconocer el apoyo económico del CONAHCYT, cuya beca para estudios de Maestría en Ciencias ha sido fundamental para el logro de mis objetivos.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Producción de carne de bovino.....	3
2.2. Desafíos de la producción intensiva carne bovina.....	4
2.3. Respuesta fisiológica del bovino ante el estrés por calor.....	5
2.4. Relación de factores ambientales con el estrés por calor.....	6
2.4.1. Temperatura ambiental.....	6
2.4.2. Humedad relativa.....	7
2.4.3. Radiación solar.....	7
2.4.4. Velocidad del viento.....	8
2.5. Estrategias de mitigación del estrés por calor.....	10
2.6. Efecto del género en la respuesta productiva.....	11
2.7. Efecto de la estación del año en las variables productivas.....	12
2.8 Efecto del diseño de corral en variables productivas.....	13
III. HIPÓTESIS	15
IV. OBJETIVOS	16
V. MATERIAL Y MÉTODOS	17
5.1. Localización del área de estudio.....	17
5.2. Condiciones climáticas de la región.....	17
5.3. Características de los bovinos.....	17
5.4. Manejo y alimentación de los bovinos.....	17
5.5. Características de los corrales.....	18
5.6. Procedimiento.....	19
5.7. Análisis estadístico.....	21

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
6.1 Condiciones climáticas en la Unidad de Producción Pecuaria.....	
6.2. Características de los corrales de engorda.....	
6.3 Respuesta productiva en el corral de engorda.....	
VII. CONCLUSIONES.....	40
VIII. LITERATURA CITADA.....	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Efecto del género en las características de la canal de bovinos finalizados en corral de engorda.....	12
2	Valor nutrimental de las fórmulas utilizadas en la alimentación de los bovinos durante su permanencia en el corral de engorda.....	18
3	Características de los tipos de corrales de finalización intensiva en la UPP ubicada en el trópico seco.....	18
4	Distribución de los bovinos con base en la clase y a los días de permanencia en el corral de engorda.....	20
5	Variables climáticas en la Unidad de Producción Pecuaria distribuidas por estación del año.....	23
6	Estadísticas descriptivas para espacio en corral, espacio de sombra, espacio de comedero y bebedero en lotes de bovinos en finalización intensiva.....	25
7	Espacio de corral, espacio de sombra, espacio en comedero y bebedero para lotes de bovinos en engorda en finalización intensiva según clase de bovino y temporada del año (media \pm desviación estándar).....	27
8	Respuesta productiva y rendimiento en canal de lotes de machos en finalización intensiva según la temporada y la clase de bovinos.....	35
9	Respuesta productiva y rendimiento en canal de lotes de hembras en finalización intensiva según la temporada y la clase de bovinos.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Ubicación geográfica de las secciones de la UPP objeto de estudio.....	19
2	Interacción para consumo de materia seca por temporada del año y clase de bovino en finalización.....	37
3	Interacción para rendimiento en canal caliente según la temporada y la clase de bovino en finalización.....	37

RESUMEN

Efecto del diseño de corral, clase de ganado y temporada del año en la respuesta productiva en bovinos de corral de engorda en el trópico seco.

MVZ María Fernanda Ureña Zatarain

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del diseño del corral, clase de ganado y temporada del año, sobre los indicadores productivos de bovinos en finalización intensiva en trópico seco, para lo cual se analizaron los valores de producción de 427 corrales. Con base en la clase de ganado y los días de permanencia en el corral de engorda, los bovinos se agruparon en siete clases. De acuerdo con el mayor tiempo de permanencia de los bovinos en cada estación del año durante la etapa de finalización, se procedió a distribuir los corrales en temporada cálida y fresca. En el análisis se incluyeron las variables tales como espacio vital, área de sombra, peso inicial, peso final, ganancia diaria de peso, consumo de materia seca, conversión alimenticia, eficiencia alimenticia, peso de la canal caliente y rendimiento de la canal. La asignación de espacio promedió 13.37 ± 2.19 m²/cabeza; el área de sombra tuvo un valor promedio de 1.84 ± 0.28 m²/cabeza. La disponibilidad de espacio en corral y asignación de sombra en becerros, becerras, vaquillas y vaca adulta no mostró diferencia ($P > 0.05$), entre temporadas. Se observó diferencia ($P < 0.05$) en la disponibilidad de sombra para toro joven (1.91 vs 1.77 m²/cabeza) y para toro adulto (2.89 vs 2.08 m²/cabeza), en la temporada fresca del año. Se observó diferencia ($P < 0.05$) en el peso final de los becerros en la temporada fresca (482.52 vs 505.44 kg). En el consumo de materia seca se observó interacción significativa ($P < 0.05$) entre temporada y clase de ganado. En machos no se observaron diferencias en ganancia diaria de peso por temporada ($P > 0.05$). El peso de la canal caliente fue similar en machos (308.51 ± 1.81 kg; $P > 0.05$), así como en el rendimiento de la canal (60.76 ± 0.16 %). El peso final de las hembras fue similar entre clases y entre temporadas. La ganancia diaria de peso, de las becerras fue mayor ($P < 0.05$) en la temporada cálida (1.26 ± 0.02 kg/d) que en la fresca (1.21 ± 0.01 kg/d). La conversión alimenticia en becerras fue mejor (5.30 ± 0.28 kg/kg vs 5.78 ± 0.21 kg/kg; $P < 0.05$) en la temporada fresca, de igual manera para el caso de las vaquillas (5.46 ± 0.26 kg/kg vs 6.02 ± 0.18 kg/kg; $P < 0.05$). en la temporada cálida las vaquillas tuvieron un rendimiento en canal de 57%, por el contrario, en la temporada fresca se registró un rendimiento en canal mayor 62%; en cambio en las vacas adultas es evidente el efecto de la temporada fresca en la reducción del rendimiento de la canal al pasar de 61% a 56%. Se concluye que en el desempeño productivo de ganado bovino en corral de engorda influyen las condiciones ambientales, el género y la clase de los bovinos.

Palabras clave: corral de engorda, respuesta productiva, efecto ambiental

ABSTRACT

Pen design, cattle class, and season in the productive response in beef cattle of feedlot in the dry tropics

MVZ María Fernanda Ureña Zatarain

The objective of the study is to determine the effect of corral design, cattle class, and season of the year on the productive indicators of cattle in intensive finishing in dry tropics, the production values of 427 pens were analyzed. Based on the cattle class and the days spent in the feedlot, cattle were organized into seven categories. According to the longer time spent by cattle in each season of the year during the finishing stage, the corrals were distributed in warm and cool seasons; the analysis included living space, shade area, initial weight, final weight, average daily gain, dry matter intake, feed conversion, feed efficiency, hot carcass weight and carcass yield. Space allocation averaged 13.37 ± 2.19 m²/head; shade area averaged 1.84 ± 0.28 m²/head. The availability of space in the corral and shade allocation in calves, heifers, and adult cows did not show differences ($P > 0.05$) between seasons. Difference ($P < 0.05$) was observed in shade availability for young bulls (1.91 vs 1.77 m²/head) and for adult bulls (2.89 vs 2.08 m²/head) in the cool season. A difference ($P < 0.05$) was observed in the final weight of calves in the fresh season (482.52 vs 505.44 kg). In dry matter intake, a significant interaction ($P < 0.05$) was observed between season and cattle class. In males, no differences were observed in daily weight gain by season ($P > 0.05$). No differences were observed between the male category by season or in the general averages (308.51 ± 1.81 kg; $P > 0.05$), as well as in carcass yield (60.76 ± 0.16 %). The final weight of females was similar between classes and between seasons. Daily weight gain in calves was higher ($P < 0.05$) in the warm season (1.26 ± 0.02 kg/d vs 1.21 ± 0.01 kg/d). Feed conversion in calves was better (5.30 ± 0.28 kg/kg vs 5.78 ± 0.21 kg/kg; $P < 0.05$) in the warm season, and the same was true for heifers (5.46 ± 0.26 kg/kg vs 6.02 ± 0.18 kg/kg; $P < 0.05$). In the warm season, heifers had a carcass yield of 57%, while in the cool season, a carcass yield of 62% was recorded, however, in adult cows the effect of the cool season is evident in the reduction of carcass yield, going from 61% to 56%. It is concluded that the productive performance of cattle in feedlots is influenced by environmental conditions, gender, and class of cattle.

Key words: feedlot, productive performance, environmental effect

I. INTRODUCCIÓN

La producción de ganado bovino es una actividad estratégica a nivel global, ya que desempeña un papel crucial en la economía de diversas regiones. Además de contribuir significativamente a la seguridad alimentaria, esta actividad es la base del sustento y el empleo para muchas comunidades rurales y agrícolas (Del Angel *et al.*, 2023). En este sentido, la producción intensiva de carne bovina implica la implementación de un sistema de manejo que integra la provisión de un ambiente controlado, una nutrición optimizada y un manejo sanitario especializado, con el objetivo de maximizar la eficiencia productiva y la calidad de la carne (Munilla *et al.*, 2022).

En el panorama internacional, en el año 2020, la producción de carne de bovino ascendió considerablemente debido al incremento de la población mundial y, por lo tanto, también de la demanda de este alimento. Al respecto, Huerta-Sanabria *et al.* (2018), afirman que los factores que limitan el consumo de carne en México son: el precio del bien, el ingreso, los gustos y preferencias, el precio de otros bienes relacionados y la el tamaño de la población. Sin embargo, existen otros factores que influyen directa o indirectamente en la dinámica de consumo de los productos cárnicos, por ejemplo, la composición de la familia por sexo y edad de los integrantes influye cualitativa y cuantitativamente en sus patrones de consumo.

Para hacer frente a la demanda de carne bovina, la eficiencia en la producción de carne se sustenta en el confinamiento intensivo y se evalúa con criterios de eficacia mediante el aprovechamiento integral de los alimentos, expresado como conversión alimenticia, pero se limita por la correlación que existe entre el peso vivo y la ganancia diaria de peso; además de que existen otro tipo de variables que pueden dar un resultado más significativo para la mejora de la productividad de los animales (Costa *et al.*, 2003). En este sentido, la evaluación de los factores que afectan a la eficiencia productiva puede ser útil para múltiples fines tales como mejorar los parámetros productivos, tomar mejores decisiones de selección, mejorar el diseño de instalaciones y contribuir a la mitigación del estrés por calor (Gutiérrez *et al.*, 1997).

La exigencia de los consumidores de productos de origen animal está cambiando debido a su creciente interés por conocer el origen de los alimentos y sobre todo por

las prácticas productivas que impactan en el bienestar de los animales que favorecen a la producción de alimentos de origen pecuario (Arias *et al.*, 2008). En México, se dispone de información limitada con respecto a la relación de diversos factores asociados entre los indicadores de la productividad y los indicadores del bienestar de los animales, particularmente en la producción intensiva de carne bovina en establecimientos ganaderos particularmente ubicados en la zona tropical del noroeste del país. El desarrollo de una comprensión integral de los factores que influyen en la expresión positiva de los indicadores productivos del ganado bovino finalizado en corral permitirá establecer estrategias innovadoras, que representen una oportunidad para la mejora continua del bienestar de los bovinos productores de carne en confinamiento y su relación con la productividad durante los ciclos de engorda a lo largo del año.

La presente investigación tiene como objetivo determinar el efecto del diseño del corral, clase de ganado y temporada del año en los indicadores productivos de bovinos en finalización intensiva en trópico seco.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Producción de carne de bovino

Con base en cifras del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) se estima que para el año 2024, la producción mundial de carne bovina podría crecer 0.6%, para ubicarse en 60.4 millones de toneladas (FIRA, 2024); esta proyección se sustenta en referencia a las apreciaciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) quienes proyectan que la producción aumente 9.0% en los próximos diez años, a medida que los precios de los forrajes disminuyan y la genética de los animales mejore (COMECARNE, 2024).

En México, la producción de carne de bovino creció a una tasa promedio anual de 2.1% entre 2013 y 2023. En este último año se produjeron 2.21 millones de toneladas volumen máximo desde que se tiene registro, y que significó un incremento de 1.8% con respecto a 2022. La estimación para 2024 contempla un nuevo incremento de 41 mil toneladas, por lo que se esperaría una nueva producción récord de 2.26 millones de toneladas, es decir, se prevé que crezca 1.9% a tasa anual (FIRA, 2024)

En México, en los últimos cinco años el consumo aparente de carne de bovino en el país creció a una tasa promedio anual de 2.1%, al pasar de 1.79 a 1.98 millones de toneladas; en particular, en 2023 el consumo nacional creció 7.8%, muy por arriba del incremento de la producción (FIRA, 2024).

De acuerdo con cifras actuales, 10 estados de la República Mexicana generan el 64% de la carne de bovino que se produce en el país (FIRA, 2024), y aproximadamente el 47% de la matanza y procesamiento de ganado bovino se realiza en establecimientos Tipo Inspección Federal (TIF); esto significa que anualmente se sacrifican más de 8.1 millones de cabezas de reses a nivel nacional (SIAP, 2023).

2.2. Desafíos de la producción intensiva de carne bovina

El principal desafío de la producción intensiva de carne bovina es el estrés por calor ocasionado por las actividades antropogénicas que impactan de manera negativa en el cambio climático (Thornton *et al.*, 2021), de tal manera que el estrés por calor puede afectar los indicadores productivos, cuando se rebasa la zona termoneutral del ganado. Se conoce que también puede afectar negativamente el bienestar animal incluso sin efectos sobre la productividad, al menos en el corto plazo (Spiller *et al.* 2021). De acuerdo con Chauhan *et al.* (2021) se advierte que las olas de calor son cada vez más frecuentes, de mayor magnitud y persistencia, así como durante períodos más prolongados, lo que ante la falta de medidas apropiadas para contrarrestar los efectos del estrés por calor se compromete cada vez más el bienestar y la producción animal. El impacto del cambio climático en la producción de carne bovina radica en el incremento global de la temperatura, la afectación del régimen de pluviométrico al disminuir la cantidad de lluvia, cambios en los patrones de precipitación y en consecuencia disminución de la disponibilidad de alimentos para el ganado (Hassen y Dawid, 2021). En este escenario, la escasez de alimento y agua contribuye a reducir el rendimiento productivo del ganado, debido a que las temperaturas más altas resultantes del cambio climático pueden aumentar la tasa de desarrollo de ciertos patógenos o parásitos que tienen una o más etapas del ciclo de vida fuera de su huésped animal (Husem Harum *et al.*, 2022). Para América Latina y el Caribe la FAO (2023), afirma que el cambio climático, es un gran desafío, cuyos efectos son exacerbados por otros factores como la degradación de los ecosistemas y de los suelos, los sistemas de producción no sostenibles, las desigualdades en el acceso a beneficios y la creciente demanda internacional de alimentos, lo que agudiza aún más la situación en este contexto.

Lo anterior, se puede exacerbar debido no solamente a los cuestionamientos medio ambientales, sino a los vaivenes en términos de eficiencia económica, márgenes más estrechos de utilidad en los diferentes eslabones que componen la cadena de valor de la carne bovina y en consecuencia el abandono de esta práctica ganadera.

2.3. Respuesta fisiológica del bovino ante el estrés por calor

Según Dimken y Hansen (2009), el estrés por calor se define como la combinación de factores ambientales que actúan sobre un animal, aumentando su temperatura corporal y desencadenando respuestas fisiológicas. Estas respuestas varían en intensidad según el nivel de estrés y pueden afectar significativamente la salud y el bienestar de los animales, particularmente a través de la estimulación y activación del sistema inmunológico (Morgado *et al.*, 2023).

Durante la exposición al estrés, el sistema nervioso central y el sistema inmunológico se encuentran interconectados a través de la activación del sistema nervioso autónomo y del eje hipotálamo-hipofisario-adrenal (HPA) a través de la secreción de neuropéptidos y hormonas, incluidos los glucocorticoides; en particular, en la fase inicial de exposición térmica se observa un aumento del nivel de cortisol periférico, al que le sigue una disminución cuando se produce una exposición prolongada a la hipertermia; se considera al cortisol como el principal inmunosupresor, por lo tanto, un nivel más alto de cortisol conduce a un aumento de la inmunosupresión y mayor susceptibilidad a las presentaciones de enfermedades infecciosas (Collier *et al.*, 2008).

Dadas estas condiciones climáticas adversas que en lo particular se presentan en cada localidad, principalmente alta temperatura ambiental, la respuesta fisiológica conduce al incremento de la temperatura corporal más allá del rango fisiológico normal del bovino y de su capacidad adaptativa para afrontarlo (Gaughan *et al.*, 2008), lo cual puede tener un desenlace adverso, es decir, los bovinos pueden morir por hipertermia. El estrés por calor surge debido a un conjunto de cambios que se van desencadenando en animales que están expuestos a altas temperaturas, que se reflejan en una disminución de la capacidad adaptativa de los bovinos (Scholtz *et al.*, 2013) debido a que cuando el bovino es afectado por el estrés por calor reduce el consumo de alimento, altera el sistema endocrino reduciendo la rumia y en consecuencia la absorción de nutrientes (Collier *et al.*, 2008), con lo que se compromete su aprovechamiento para una mejor eficiencia productiva.

Los bovinos son animales homeotermos, es decir que para preservar la homeostasis lo hacen mediante cambios fisiológicos en ambientes donde la temperatura se encuentra fuera de su zona de confort. Esta respuesta es inmediata y se manifiesta

con un aumento del consumo de agua, incremento de la frecuencia respiratoria, búsqueda de sombra y a medida que las condiciones estresantes son más severas comienza a observarse jadeo, salivación excesiva, disnea y protrusión de la lengua (Bernabucci *et al.*, 2010).

El aumento de la frecuencia respiratoria es un mecanismo eficiente para perder calor cuando se presentan situaciones de estrés calórico (Ferreira *et al.*, 2006; Robertshaw, 2006). La hiperventilación induce una alteración en el equilibrio ácido-básico sanguíneo, caracterizada por una disminución en la concentración de ácido carbónico (H_2CO_3) y un aumento en la concentración de bicarbonato (HCO_3^-), lo que resulta en una alcalosis respiratoria. Posteriormente, la sobre excreción de HCO_3^- desencadena una acidosis metabólica. Además, la disminución del flujo de bicarbonato hacia el rumen y su reducción en la saliva provocan una acidosis ruminal (Barragán *et al.*, 2015).

2.4. Relación de factores ambientales con el estrés por calor

Las variables meteorológicas que influyen en el confort térmico de los bovinos son: la temperatura del aire (T°), la humedad relativa (HR), la radiación solar (RS) y la velocidad del viento (VV) (Molina *et al.*, 2016). Al tomar en cuenta estas variables para estimar el nivel de estrés por calor al cual se encuentra expuesto un animal se han desarrollado diferentes índices de confort térmico, en los cuales se contempla en forma conjunta el efecto de al menos dos de las variables mencionadas anteriormente (Hahn *et al.*, 2009). El índice de temperatura-humedad (ITH) es un estándar en las prácticas de manejo del ganado que ha sido utilizado desde hace ya algunos años (Khalifa, 2003; Gaughan *et al.*, 2008), y a la fecha existen tablas y rangos que permiten predecir riesgos eventuales de estrés por calor. Sin embargo, el ITH no considera importantes factores climáticos como la radiación solar y la velocidad del viento ni tampoco incluye factores de manejo productivo y/o de genotipo del animal (Gaughan *et al.*, 2008).

2.4.1. Temperatura ambiental

La temperatura de confort térmico para el ganado se define como el rango de temperatura ambiental que permite mantener la homeostasis térmica, es decir, una temperatura corporal constante y estable, sin necesidad de respuestas fisiológicas o

comportamentales de adaptación (Khalifa, 2003). En el estudio de Hahn (1999) se determinó que un umbral de estrés de 25 °C coincide con la disminución del consumo de alimento, por lo que la productividad de los animales se encuentra estrechamente relacionada. Por su parte, Arias y Mader, (2010) observaron que la temperatura ambiente, la temperatura máxima, la temperatura mínima y el ITH son los principales factores que influyen en la ingesta de agua diaria en el ganado de engorda, provocan cambios en el consumo de alimento que se ve reflejados en la ganancia diaria de peso y en la conversión alimenticia. Existe recompensa económica cuando se incrementa el espacio vital de los animales, que contribuye a la mejora en la productividad y en el bienestar del ganado bovino de engorda (Montelli *et al.*, 2019)

2.4.2. Humedad relativa

La humedad relativa es un factor de estrés ambiental que puede agravar las condiciones de calor extremo y afectar negativamente la salud y el bienestar del ganado (Da Silva, 2006). La humedad relativa tiene un impacto significativo en la capacidad de los animales para regular su temperatura corporal, ya que reduce la eficacia de la sudoración y la respiración para disipar el calor, especialmente en entornos donde la evaporación es vital para mantener la homeostasis térmica (Arias y Mader, 2010).

2.4.3. Radiación solar

La radiación solar se considera como uno de los factores más importantes que afectan el balance térmico en el ganado, ya que tienen un fuerte impacto en la carga total de calor y en el estrés por calor en los animales (Arias *et al.*, 2008). La cantidad de calor radiante absorbida por un animal depende no solo de la temperatura del animal, sino también de su color y textura de la piel. las superficies oscuras absorben más calor que superficies claras a una misma condición ambiental (Arias *et al.*, 2008). Los bovinos que están en espacios abiertos en una región calurosa pueden absorber hasta 640W^{-2} de radiación (Da Silva *et al.*, 2010).

2.4.4. Velocidad del viento

La velocidad del viento influye significativamente en la termorregulación de los animales. En verano, facilita la disipación de calor por evaporación y convección, reduciendo el estrés por calor. Sin embargo, en invierno, puede aumentar la pérdida de calor, especialmente si la piel del animal está húmeda (Plazas y Ávila, 2011).

La eficiencia de la transferencia de calor se ve significativamente mejorada cuando la piel se encuentra en un estado húmedo en comparación a cuando se encuentra seca. Esta relación fue destacada por Arkin *et al.* (1991) y Mader *et al.* (2006), quienes identificaron la velocidad del viento como un factor clave en el ajuste del índice de temperatura y humedad (ITH).

2.4.5. Mecanismo de intercambio de calor en bovinos

La termorregulación es un proceso neuronal que conecta la información del entorno externo con una respuesta adecuada del animal, por ejemplo, vasoconstricción, piloerección, jadeo, que permite al animal mantener estable su entorno interno en relación con el entorno externo variable (Nakamura y Morrison, 2008).

Aunque las vías de intercambio de energía, conocidas como forma de calor sensible y forma de calor latente son fijas, la variabilidad que naturalmente existe entre animales en cuanto a tamaño corporal, deposición de grasa subcutánea, tipo y tamaño del pelaje, actividad funcional y número de glándulas sudoríparas, así como la presencia o ausencia de capacidad de intercambio de calor respiratorio anatómico a contracorriente, ha llevado a la especialización del intercambio de calor entre los animales domésticos, como es el caso del intercambio respiratorio en rumiantes.

Debido a esto, el aumento constante de los indicadores de producción de los animales domésticos ha dado lugar a una menor plasticidad de las respuestas termorreguladoras al calor (Collier y Gebremedhin, 2015).

Shepard y Maloney (2023), afirman que el ganado controla su temperatura corporal en un rango estrecho en condiciones climáticas variables, de tal manera que el calor corporal endógeno es generado por el metabolismo, la digestión y la actividad física.

En el caso de bovinos, la radiación es la principal fuente externa de transferencia de calor al cuerpo del ganado; para asegurar la homeotermia, el ganado emplea una variedad de estrategias conductuales y fisiológicas para regular su temperatura

corporal. Estas estrategias incluyen la radiación, la convección, la conducción y la evaporación, permitiendo el intercambio de calor entre el cuerpo del animal y su entorno. Es destacable que los mecanismos de evaporación desempeñan un papel crucial en la regulación térmica, ya que transfieren eficazmente el calor corporal hacia el medio ambiente.

El ganado controla la radiación buscando la sombra ante la intensidad del calor o bien buscan refugio cuando arrecia el frío y parándose más separados o aglomerándose acorde a las circunstancias climáticas, pero se han observado diferencias intrínsecas entre razas y edades en el potencial de transferencia de calor por radiación. El gradiente de temperatura entre la piel y el ambiente externo y la velocidad del viento (convección) determinan la transferencia de calor por estos medios (Rashamol *et al.*, 2018).

El ganado controla estos mecanismos a través del flujo sanguíneo a la periferia mediante componentes fisiológicos, o buscando refugio y permaneciendo de pie o echado a corto plazo a través de expresiones conductuales. También modifica la estructura y tamaño de su pelaje y ajusta las tasas metabólicas a largo plazo mediante la adaptación o aclimatación. La pérdida de calor por evaporación en el ganado se debe principalmente a la sudoración, con cierta contribución respiratoria, siendo este el principal mecanismo para disipar el exceso de calor cuando las temperaturas ambientales superan la temperatura corporal (mayor a 36 °C).

El ganado suele estar mejor adaptado a condiciones externas más frías que cálidas. En este sentido, el tipo racial *Bos indicus* es más resistente al calor que el tipo *Bos taurus*. Para minimizar el riesgo de estrés térmico, es fundamental implementar un manejo adecuado, seleccionando razas de ganado adaptadas al clima local, manteniendo densidades de población adecuadas, proporcionando dietas equilibradas, ofreciendo agua libre de contaminantes y garantizando condiciones óptimas de alojamiento en los corrales de engorda. Al seguir estas prácticas, es posible reducir significativamente el estrés térmico en el ganado y mejorar su adaptación al entorno de la unidad de producción pecuaria (Sejian *et al.*, 2018).

En los corrales de engorda, los bovinos pueden experimentar excesivo calor radiante proveniente de superficies de tierra o concreto y sin un manejo adecuado mostrarán

una pérdida de rendimiento debido a la disminución de la eficiencia y el consumo de alimento como resultado del estrés fisiológico (Mader *et al.*, 2006). Lo anterior, se traduce en la incapacidad de reducir la mayor carga de calor que potencialmente puede resultar en la muerte de los bovinos (Henry *et al.*, 2018).

2.5 Estrategias de mitigación del estrés por calor

2.5.1. Requerimientos de espacio vital. En los corrales de engorda los factores importantes para tomar en cuenta a la hora de diseñar las instalaciones es la densidad y el tamaño del corral para definir el suficiente espacio vital para los bovinos durante el periodo de alimentación, ya que esto puede tener un efecto sobre las condiciones ambientales del corral. El espacio requerido para los animales de engorda es de 18.5 m² por animal, pero se puede modificar respecto al peso de los animales, requiriendo 15 m² por animal cuando pesan 300 kg o menos y 20 m² por animal cuando pesan 400 kg o más (Lagos *et al.*, 2014). Algunos autores mencionan que proporcionarle al animal una densidad óptima en el corral de engorda favorece los parámetros productivos y de calidad de la carne, por ejemplo, Lee *et al.* (2012) señalan que los animales alojados en espacios adecuados el consumo de alimento y el crecimiento son mejores, produciendo canales más grandes, lo que resulta en una eficiencia productiva favorable. Macitelli *et al.* (2020) mencionan que aquellos bovinos que se alojan en una densidad inadecuada, se presenta un impacto negativo en el bienestar, el estrés y la salud de los animales. Por tal razón, es importante considerar el entorno ambiental y las características de los corrales para que los animales tengan espacios de alojamiento adecuado (Romo *et al.*, 2022).

2.5.2 Provisión de sombra. El estrés por calor a que están sometidos los bovinos de engorda va aumentando cada año gradualmente debido al calentamiento global, es por ello por lo que existe la necesidad de proporcionar sombra para protegerlos de la radiación solar y del calor (Mader, 2003). La sombra reduce la radiación solar y la energía utilizada para la termorregulación, mejorando así el confort del ganado y la productividad (Blaine y Nasahlai, 2011). En los corrales de engorda donde se aloja el

ganado se utilizan sombras de diferentes tipos de materiales como estrategia para la mitigación de estrés calórico. En el estudio de Eigenberd *et al.* (2010), no se reporta si existen alguna diferencia entre cada tipo de sombra para la mitigación de calor. En el estudio de Castro *et al.* (2020), concluyeron que utilizando ventiladores en combinación con la sombra aumenta la ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia. Por su parte, Milthohner *et al.* (2001), demostraron que la sombra es muy eficiente para reducir el estrés calórico y que puede mejorar considerablemente el rendimiento del ganado de engorda en confinamiento, lo cual se confirma en el estudio de Blaine y Nasahlai, (2011), que demuestra que los animales con sombra tuvieron 8.33 kg más que los animales sin sombra. Con base al trabajo de Brown-Brandl *et al.*, (2005) refieren que instalando sombra en los corrales de engorda en donde se aloja el ganado durante su estadía en la unidad de producción influye favorablemente en los indicadores productivos de los bovinos. El ganado alojado en corrales con sombra presenta un peso final 4.4% mayor que los animales que no cuentan con sombra. El uso de sombra aumenta 16% la ganancia diaria de peso de los animales (Barajas y Félix., 2002).

2.6 Efecto del género en la respuesta productiva

En el estudio de Pogorzelska-Przybyłek *et al.* (2021), se afirma que los toretes no castrados tienen un mejor rendimiento en sistemas intensivos en comparación de novillos y vaquillas. La mayor tasa de crecimiento observada en toretes no castrados se atribuye probablemente al aumento progresivo de hormonas anabólicas, tales como la testosterona, producidas en los testículos. De acuerdo con Lee *et al.* (1990), la capacidad de los toretes para depositar grasa intramuscular (marmoleo) durante el proceso de engorde en corral, se ve influenciada negativamente por la secreción elevada de hormonas androgénicas. Esto sugiere que los toretes con altos niveles de hormonas androgénicas tienden a depositar más tejido muscular que grasa. Estas diferencias se deben a que la testosterona promueve el desarrollo muscular debido a una mayor retención de nitrógeno, aparte tiene un efecto inhibitor sobre la lipogénesis (De Freitas *et al.*, 2015; Prior *et al.*, 1983). Por otra parte, las hembras tienen un mayor potencial de deposición de grasa, ya que Mueller *et al.* (2019) en su estudio

demuestran que el espesor de la grasa del ojo de la costilla fue mayor en vaquillas que en toros, aunque estos mostraron un mayor peso final corporal al momento de la matanza. En las hembras en la fase estrogénica, se ve afectado el consumo de materia seca y por consecuencia el rendimiento productivo (Lage *et al.*, 2012). Un resumen del efecto del grupo de bovinos en las características de la canal de bovinos finalizados en corral de engorda se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Efecto de la clase de bovinos finalizados en corral de engorda en las características de la canal.

Características	Grupo			
	Toros	Novillos	Hembras	
n,	8	8	14	11
Edad (meses)	35	35	102	18
Peso final, kg	578	504	465	317
Peso canal caliente, kg	307	269	245	171
Rendimiento de canal, %	53.4	53.3	52.7	53.9
Longitud de la canal, cm	138	137	135	114
Longitud de la pierna, cm	78.9	78	ND	68.2
EGD, mm	1.75	2.81	4.72	4
AOC, cm ²	64.1	61.6	50.3	57.3
Color (puntos)	3.50	3.38	3.62	4.0
Textura (puntos)	3.25	3.25	3.36	4.40
Marmoleo (puntos)	1.50	2.88	5.40	3.70

Kuss *et al.*, 2005; Marques *et al.*, 2006; Prado *et al.*, 2009. ND= No definido; EGD: espesor de grasa dorsal, AOC: área del ojo de la costilla.

2.7. Efecto de la estación del año en las variables productivas

Un elevado índice de temperatura-humedad (ITH) es considerado uno de los principales factores que afectan el consumo de materia seca en ganado bovino en confinamiento (Gaughan *et al.*, 2008). Durante la temporada de verano, los nutrientes absorbibles se desvían del crecimiento y desarrollo y se dirigen hacia el mantenimiento de la temperatura corporal (Baumgard y Rhoads, 2007). En el caso del ganado bovino en corrales de engorda, esta desviación se correlaciona con tasas de crecimiento

reducidas. Específicamente, el estrés por calor puede provocar una disminución en la ganancia de peso de aproximadamente 10 kg, lo que se traduce en un aumento de siete días en el período de alimentación requerido para alcanzar el peso deseado. (Baumgard y Rhoads, 2012).

En el estudio de Hahn (1999) se informa de la muerte de 100 bovinos en corral de engorda en el centro de Nebraska debido a una ola de calor que tuvo tres picos en las cargas térmicas. Las muertes ocurrieron durante el tercer pico en el que se planteó la hipótesis de que la ingesta de alimento a libre acceso resultó en una gran carga de calor metabólico y, junto con la carga de calor ambiental, superó la capacidad de los animales para mantener el equilibrio térmico. También es probable que la salud animal se vea afectada por agentes causantes de enfermedades, incluidos los vectores y parásitos que proliferan durante el verano, cuando las condiciones son cálidas y húmedas (Kadzere *et al.*, 2002).

Respecto a la relación que tiene el clima sobre el peso de los animales, en el estudio de González *et al.* (2005), los toros producidos en clima húmedo fueron los de mayor peso en canal caliente (309.45.kg) seguidos por los de clima seco (298.35 kg).

2.8. Efecto del diseño de corral en variables productivas

En el estudio de Koknaroglu *et al.* (2008), se observó que el rendimiento es afectado considerablemente por el diseño del corral, a pesar de que el ganado fue alimentado con la misma dieta e inició con el mismo peso los lotes con sombra y espacio vital adecuado pesaron 38 kg más que los que se alojaron en confinamiento sin sombra. Al respecto Barajas-Cruz *et al.* (2010), afirman que el uso de sombra en el corral de engorda promueve en cerca del 14 % la respuesta productiva de toretes en finalización durante la época fresca y seca en el Noroeste de México.

De igual manera en otro estudio como resultado del uso de sombra durante los meses calurosos de verano, mejora el consumo de alimento y el crecimiento por lo que concluye que la sombra es eficaz para reducir el estrés calórico y puede mejorar el rendimiento del ganado bovino de engorda (Barajas *et al.*, 2013).

El desempeño productivo y especialmente el aumento medio diario de los animales con acceso a sombra o aspersion durante el período donde hubo ola de calor fue 38 y

56% superior respecto a animales sin medidas de mitigación del estrés por calor (Clariget *et al.*, 2018). El ganado de engorda es más vulnerable al estrés calórico, porque durante su estancia en el corral utiliza dietas altas en energía, comparado a un ganado en sistema de pastoreo que tiene la capacidad de buscar la sombra, el agua y tiene movimiento del aire para refrescarse mientras que el calor radiante de la tierra o la superficie de concreto restringe al ganado en confinamiento.

El rendimiento de la canal es una de las variables más importantes porque refleja la eficiencia de la productividad en el corral de engorda (Torrescano *et al.*, 2010). En algunos estudios (Romo *et al.*, 2019; Zazueta *et al.*, 2021) evaluaron tres tipos diferentes de diseño de corral diferentes para hacer una comparación entre las diferentes instalaciones y evaluar su productividad, destacando que los corrales con sombra y un espacio vital adecuado, presentaron mejoras significativas en las variables productivas y así reducir el estrés de los bovinos, mejorando la eficiencia productiva.

III. HIPÓTESIS

En la expresión de los indicadores productivos de los bovinos en finalización intensiva concurren de manera positiva el diseño de corral, el género y la estación de año en el trópico seco.

IV. OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el efecto del diseño del corral, clase y temporada del año en los indicadores productivos de bovinos en finalización intensiva en trópico seco.

Objetivos específicos

1. Relacionar el diseño de corral de engorda por clase de bovinos de engorda en finalización con la temporada del año.
2. Valorar el efecto de la temporada del año en los indicadores productivos de bovinos de engorda en finalización.
3. Valorar el efecto de la clase y temporada del año en los indicadores productivos de bovinos de engorda en finalización.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la Unidad de Producción Pecuaria (UPP) Agropecuaria JS SA de CV, ubicada en el km 18 de la carretera Internacional al sur de la ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, en el poblado Los Becos. La UPP se localiza entre las coordenadas 24° 38' 58" N y 107° 17' 10" O; con un rango de altitud de 64 a 135 sobre el nivel del mar.

5.2. Condiciones climáticas de la región

Las condiciones climáticas de la UPP son de trópico seco y de acuerdo con la clasificación Köppen modificado por García, 2004) se describe con la siguiente nomenclatura (BS1(h') w(w)(e)); la temperatura media anual es de 25 °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. La humedad relativa promedio anual en la región es de 68 % con máxima promedio de 98 % y mínima promedio de 14 % (CONAGUA, 2024).

5.3. Características de los bovinos

Los bovinos incluidos en el presente estudio mostraron las características típicas de los corrales de engorda tecnificada del noroeste de México, 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, Angus, en proporciones no determinadas.

5.4. Manejo y alimentación de los bovinos

El protocolo de manejo y alimentación de los bovinos es el que comúnmente se sigue en las engordas tecnificadas del noroeste de México, que consiste en vacunación, desparasitación y colocación de implantes (acetato de trembolona, estradiol y tilosina). Los bovinos reciben alimentación dos veces al día de acuerdo con un programa de cinco dietas que básicamente incluyen en su formulación al grano de maíz hojuelado, paja de maíz, pasta de soya, granos secos de destilería, melaza y premezcla mineral

y vitamínica, en diferentes proporciones de acuerdo con la fase de alimentación. En el Cuadro 2 se muestra el valor nutrimental de las fórmulas utilizadas en la alimentación de los bovinos.

Cuadro 2. Valor nutrimental de las fórmulas utilizadas en la alimentación de los bovinos durante su permanencia en el corral de engorda.

Fase de alimentación	Materia Seca (%)	Proteína Cruda (%)	ENm (Mcal/kg)
F1	84.08	15.5	1.70
F2	83.00	14.5	1.82
F3	83.50	13.5	1.94
F4	83.31	13.0	2.05
F5	83.05	13.5	2.18

ENm: Energía neta de mantenimiento

5.5. Características de los corrales

Los bovinos objeto de estudio se alojaron en corrales de tres tipos de diseño, los cuales se encuentran distribuidos en seis secciones; a cada sección la integran un número diferente de corrales cuyas características se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características de los tipos de corrales de finalización intensiva en la UPP ubicada en el trópico seco.

Característica	Sección					
	1	2	3	4	5	6
Número de corrales	44	64	165	63	53	38
Área disponible, m ²	1200	1200	1080	1080	900	900
Área de sombra, m ²	171	131.1	180	180	108	108
Longitud de comederos, m	29	23	30	30	18	18
Longitud de bebederos, m	3.7	3.7	3.7	3.0	6.0	6.0
Orientación de la sombra	N-S	N-S	E-O	E-O	N-S	N-S

Los corrales son convencionales para la engorda y finalización de ganado bovino, contruidos con similitud de materiales: tubería metálica de 1.60 m de altura, piso de

tierra, estructura y provisión de la sombra a base de material metálico, bebedero automático de acero inoxidable compartido por dos corrales y banqueta de dos metros de ancho en el área de comedero lineal.

Las secciones de la Unidad de Producción Pecuaria donde se ubican los corrales que se incluyeron en el presente estudio se muestran en la Figura 1.



Figura 1. Ubicación geográfica de las secciones de la UPP objeto de estudio.

Secciones

 1	 4
 2	 5
 3	 6

5.6. Procedimiento

A partir de la información registrada en la estación meteorológica local se obtuvieron los valores acerca de las condiciones climáticas: temperatura ambiental, humedad relativa, índice ultravioleta y horas luz diurna; con los datos de temperatura ambiental y humedad relativa se calculó el valor del ITH; posteriormente esta información se organizó con base en las estaciones del año y se reagrupó en dos temporadas: cálida y fresca, según los valores climáticos previamente referidos.

Para analizar los indicadores productivos se utilizaron los datos provenientes de 427 corrales de engorda y finalización de bovinos, distribuidos de la siguiente manera: 44 de la sección 1; 64 de la sección 2; 165 de la sección 3; 63 de la sección 4; 53 de la sección 5 y 38 de la sección 6; luego, con base en el género y los días de permanencia en el corral de engorda, los bovinos se agruparon en siete categorías tal como se presenta en el Cuadro 4, y de acuerdo con la mayor permanencia de los bovinos en cada temporada del año. Durante la etapa de finalización se procedió a la distribución de los corrales en las temporadas cálida y fresca; posteriormente se analizaron los siguientes indicadores productivos: peso inicial, peso final, ganancia diaria de peso, consumo de materia seca, conversión alimenticia, eficiencia alimenticia, peso de la canal caliente y rendimiento de la canal.

Con referencia a las características de los corrales de engorda por cada tipo de corral se analizaron las siguientes variables: Densidad (m²/cabeza), disponibilidad de sombra (m²/cabeza), disponibilidad de bebedero (m/cabeza) y disponibilidad de comedero (m/cabeza).

Cuadro 4. Distribución de los bovinos con base en la clase y a los días de permanencia en el corral de engorda.

Clase	Días en corral	No. de corrales
Hembras		
Becerras	>183	49
Vaquillas	143 a 182	64
Vacas jóvenes	103 a 142	5
Vacas adultas	63 a 102	6
Machos		
Becerras	>197	47
Toretas jóvenes	126 a 196	228
Toretas adultos	<55 a 125	28

5.7. Análisis estadístico

El estudio es observacional retrospectivo comparativo (Méndez *et al.*, 1990). La unidad de medición fue cada lote de bovinos en engorda finalizado en sistema intensivo, los lotes estuvieron formados de 59 hasta 102 bovinos, finalizados en el periodo de marzo de 2019 a octubre de 2020. El estudio incluyó 427 lotes, cada observación tuvo datos de variables de clasificación (época del año, sexo, grupo de edad con base en el tiempo de finalización, sección de corrales); y variables cuantitativas (respuesta productiva, peso y rendimiento de la canal). Cada dato para respuesta productiva y de canal, es el promedio del lote. La base de datos se hizo en Microsoft Excel ^{MR}, en el que se realizó la inspección y limpieza de los datos a través del filtrado.

El análisis estadístico exploratorio de cada variable se realizó de forma numérica (estadísticas de tendencia central, variabilidad, localización y de forma); y gráfica (histogramas, caja y bigotes), para ello se empleó el programa Minitab ^R 18 (Minitab, 2017), se obtuvieron cuadros de frecuencias para las variables clasificatorias y estadísticas descriptivas para las variables cuantitativas.

Enseguida, se realizaron pruebas de normalidad dentro de conjuntos de datos por categoría de época del año y sexo-grupo (becerros, becerras, toretes, vaquillas, etc.), con las pruebas de Shapiro-Wilk ($n < 50$) o Kolmogorov-Smirnov corregida por Lilliefors ($n \geq 50$) con la librería *nortest* de R (Gross y Ligges, 2015). La homogeneidad de las varianzas entre conjuntos de datos se analizó con la prueba de Levene centrada en la media o en la mediana con la librería *car* en el programa R (Fox y Weisberg; 2019; <https://CRAN.R-project.org/package=car>).

Para concluir el análisis, se realizó análisis de la varianza en cada clase de bovino (becerras, becerros, vaquillas, toretes, vacas jóvenes, vacas adultas, toros adultos), se declaró el modelo lineal general con el procedimiento GLM de SAS^R (SAS, 2004):

$$y_{ijk} = \mu + T_i + S_j + TS_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = La variable dependiente (respuesta productiva o canal).

μ = La media general de la variable dependiente.

T_i = El efecto fijo de la i -ésima temporada del año (fresca, cálida).

S_j = El efecto fijo de la j-ésima sección de corrales (1, 2, 3, 4, 5, 6).

TS_{ij} = El efecto de la interacción de temporada del año con sección de corrales.

ε_{ijk} = El error aleatorio.

También se realizó análisis de la varianza para comparar entre temporadas dentro de cada sexo, para ello se declaró el modelo lineal general en PROC GLM de SAS^R (SAS, 2002):

$$y_{ijkl} = \mu + C_i + T_j + S_k + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

y_{ijkl} = La variable dependiente (respuesta productiva o de canal).

μ = La media general de la variable dependiente.

C_i = El efecto fijo de la i-ésima clase de bovino macho (becerros, toros jóvenes, toros adultos).

T_j = El efecto fijo de la j-ésima temporada del año (fresca, cálida).

S_k = El efecto fijo de la k-ésima sección de corrales (1,2,3,4,5,6).

ε_{ijkl} = El error aleatorio.

Cuando las varianzas fueron heterogéneas se utilizó el ANDEVA de Welch (SAS, 2002), para obtener la significancia estadística de la prueba de Fisher para el efecto de la temporada del año (variable independiente) dentro de la clase de bovino o el análisis general.

En todos los análisis el nivel máximo de alfa para aceptar diferencia estadística fue 0.05. Los resultados se escribieron con las medias \pm error estándar de cada media.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Condiciones climáticas en la Unidad de Producción Pecuaria

En el Cuadro 5, se presentan los valores de las condiciones climáticas en la UPP, distribuidos por estación del año. En el actual estudio, se registraron las variables climáticas más importantes que se presentaron durante un año de observación, sin embargo, al ser varios los factores que influyen sobre el confort de los bovinos, se ha desarrollado el índice de temperatura y humedad (ITH), en el cual se contempla el efecto de al menos dos variables.

Cuadro 5. Variables climáticas en la Unidad de Producción Pecuaria distribuidas por estación del año.

Estación	Mes	T Máx. °C	T Min. °C	HR %	ITH Máx.	ITH Min	UV	Luz diurna, h
Primavera	Marzo	30.5	12.1	67	81.89	54.66	10	12.0
	Abril	32.8	14.5	65	84.92	58.21	11	12.8
	Mayo	34.9	18.0	64	87.78	63.28	12	13.4
Verano	Junio	35.9	23.2	67	89.88	71.09	12	13.7
	Julio	35.5	24.1	72	90.34	72.90	12	13.5
	Agosto	34.8	23.8	75	89.88	72.72	12	13.0
Otoño	Sept.	34.4	23.6	75	89.26	72.41	11	12.3
	Octubre	34.2	20.7	72	88.35	67.70	9	11.6
	Nov	31.5	15.6	71	84.05	59.88	6	10.9
Invierno	Dic.	28.2	12.2	72	79.17	54.68	5	10.6
	Enero	27.8	10.9	72	78.56	52.70	5	10.8
	Febrero	28.9	11.3	70	79.95	53.38	7	11.4

T, temperatura ambiente; HR, humedad relativa; ITH, índice de temperatura y humedad; UV, radiación ultravioleta

$ITH = 0.81 \times \text{temperatura ambiente} + \text{humedad relativa}/100 (\text{temperatura ambiente} - 14.40) + 46.40$
(Mader *et al.*, 2006)

Estos resultados muestran que el promedio de temperatura máxima se registró durante el verano (35.4 °C), así como el más alto promedio de humedad relativa (71.3%), lo que se refleja en un ITH máximo promedio de 90 unidades; es necesario destacar la persistencia de estos valores durante los meses de otoño precisamente en septiembre y octubre con 34.4 y 34.2 °C, respectivamente, así como una humedad relativa de 75

y 72%. Los valores anteriores se reflejan en un ITH promedio de 88.8 unidades, es decir, tanto los valores de ITH registrados en verano y como en otoño son categorizados como emergencia térmica para el ganado bovino.

En base a lo anterior, el índice más utilizado es el índice de temperatura y humedad (ITH) que contempla la temperatura y la humedad relativa, para hacer una estimación de la intensidad de las condiciones de estrés por calor que están pasando los bovinos. Esta intensidad se categoriza en bovinos para carne como alerta (leve) para valores de $ITH \geq 75$, peligro (moderado) para valores de $ITH \geq 79$ o emergencia (severo) cuando se alcanzan valores de $ITH \geq 84$ (LCI, 1970). De acuerdo con este autor se puede apreciar en el Cuadro 5 que los bovinos finalizan durante todo el año con un ITH mayor a 75 unidades en el estatus categorizado de moderado a severo. Dicha condición térmica concuerda con el estudio de Romo *et al.* (2019), que durante el periodo de observación registraron en corrales de engorda bovina una condición térmica de 84 unidades, con lo que se concluye que los bovinos soportaron un extenso periodo de estrés térmico por calor. Estos eventos climáticos extremos magnifican los efectos adversos del calor ya que incluyen elevada intensidad de estrés calórico sumado a la prolongada cantidad de horas de exposición, lo cual reduce la cantidad de horas con la que los animales cuentan para disipar la carga calórica extra acumulada durante el día, disminuyéndose así la capacidad de recuperación (Arias y Mader, 2023).

6.2 Características de los corrales de engorda

En el Cuadro 6 se presentan las estadísticas descriptivas para las variables espacio disponible por cabeza en el corral de engorda, espacio de sombra, espacio de comedero y bebedero en lotes de ganado bovino en finalización intensiva. En relación con la variable que describe la disponibilidad de área en corral por cabeza alojada, existe controversia en cuanto a la cantidad de espacio a asignar durante la permanencia del ganado bovino en el corral de engorda. En el presente estudio se observa, en términos generales que la asignación de espacio promedió 13.37 ± 2.19 m²/cabeza, con un valor mínimo de 7.41 m²/cabeza a un valor máximo de 26.47 m²/cabeza.

Cuadro 6. Estadísticas descriptivas para espacio en corral, espacio de sombra, espacio de comedero y bebedero en lotes de bovinos en finalización intensiva.

Variable	Media	DE	CV %	Mín	Mediana	Máx	Rango
Área en corral, m ² por bovino	13.37	2.19	16.41	7.41	12.27	26.47	19.06
Área de sombra, m ² por bovino	1.84	0.28	14.97	1.11	1.80	3.83	2.72
Espacio en comedero, m por bovino	0.310	0.045	14.48	0.190	0.300	0.640	0.450
Espacio en bebedero, m por bovino	0.051	0.021	42.24	0.023	0.044	0.176	0.153

n= 427 lotes; DE; desviación estándar; Min: mínima; Max: máxima; CV: coeficiente de variación.

En este sentido, la importancia para diseñar las instalaciones para el alojamiento del ganado bovino en engorda intensiva radica en considerar a la densidad y el tamaño del corral para definir el suficiente espacio vital para los bovinos ya que esto puede tener un efecto sobre las condiciones ambientales del corral. A pesar de que en México en el Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en la Producción de Carne de Ganado Bovino en Confinamiento (SAGARPA-SENASICA, 2014), que es la base para proceder a la certificación de Unidades de Producción Pecuaria, se establecen para clima seco de 12 a 12.5 m²/cabeza, pero no considera que los bovinos incrementan de peso durante su permanencia en el corral de engorda (Zazueta *et al.*, 2022). Sin embargo, al considerar el cambio en el peso vivo del ganado, Lagos *et al.* (2014), sugieren otorgar 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. Bajo esta óptica y considerando el promedio de 18.5 m²/ cabeza bovina en finalización, existe una diferencia negativa de 5.13 m²/cabeza. Davis *et al.* (2022), afirman que el aumento de la densidad de población en los corrales de engorda sumado a la persistencia del calor extremo durante el verano y otoño, provocan microclimas más cálidos y conducen a la presentación de situaciones que comprometen el bienestar que se refleja en el

incremento de la frecuencia respiratoria y en los desafíos con la movilidad. De igual manera, cuando el espacio asignado por bovino es reducido o restringido puede implicar consecuencias duraderas o esporádicas en materia de bienestar de los animales que se reflejan en inestabilidad social y peleas para establecer jerarquías en el corral de engorda (Arndt *et al.*, 2022).

Sin duda uno de los elementos de alta importancia en la mitigación del estrés por calor en los corrales de finalización de ganado bovino es la disponibilidad de sombra, la falta de ella es un desafío actual para el bienestar en los sistemas de producción de ganado al aire libre (Grandin, 2016). En el presente estudio esta variable tuvo un valor promedio de 1.84 m²/cabeza con un valor mínimo de 1.11 m²/cabeza y un valor máximo de 3.83 m²/cabeza. Diversos autores citados por Edwards-Callaway *et al.* (2021) refieren valores para la provisión de sombra en ganado bovino en corral de engorda que van desde 1.5 m²/cabeza hasta 3.3 m²/cabeza, construidas de distintos materiales como acero galvanizado y mallas con filtración solar con el propósito de brindar protección al ganado bovino contra las inclemencias ambientales al reducir la carga calórica en el corral de engorda, contribuyendo a su bienestar.

Al relacionar los valores de ITH cuando se encuentra entre las categorías de peligro (> a 79 unidades) y emergencia (> a 84 unidades), durante los meses del año de mayor carga calórica, resalta la importancia de la disponibilidad de sombra misma que debe ser suficiente de acuerdo con el número de bovinos alojados en el corral de finalización esto con el propósito de mitigar el efecto medio ambiental cálido (Brown-Brandl *et al.*, 2005). En la disponibilidad de comedero (0.310 ± 0.045 m), así como en la disponibilidad de bebedero (0.051 ± 0.021 m), el Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en la Producción de Carne de Ganado Bovino en Confinamiento referido con anterioridad, se establece que de 0.45 a 0.55 m lineales es el espacio por animal requerido en los corrales de engorda para comederos y de 0.03 a 0.06 m lineales a una altura de 40 a 50 cm, como espacio por animal requerido para los bebederos.

En el Cuadro 7 se presentan los resultados de las características del corral para lotes de bovinos agrupados según la clase y por temporada del año, en finalización intensiva.

Cuadro 7. Espacio de corral, espacio de sombra, espacio en comedero y bebedero para lotes de bovinos en engorda en finalización intensiva según clase de bovino y temporada del año (media \pm desviación estándar).

Clase	Temporada	Lotes	Corral, m ²	Sombra, m ²	Comedero, m	Bebedero, m
Becerro	Fresca	29	12.89 \pm 1.55 ^a	1.78 \pm 0.19 ^a	0.300 \pm 0.031 ^a	0.047 \pm 0.016 ^a
	Cálida	18	12.31 \pm 1.21 ^a	1.73 \pm 0.12 ^a	0.292 \pm 0.019 ^a	0.043 \pm 0.014 ^a
		47	12.67 \pm 1.44	1.76 \pm 0.17	0.297 \pm 0.027	0.045 \pm 0.015
Becerra	Fresca	31	13.53 \pm 2.23 ^a	1.74 \pm 0.23 ^a	0.295 \pm 0.040 ^a	0.054 \pm 0.020 ^a
	Cálida	18	13.94 \pm 2.60 ^a	1.76 \pm 0.15 ^a	0.301 \pm 0.028 ^a	0.045 \pm 0.011 ^a
		49	13.68 \pm 2.36	1.75 \pm 0.20	0.298 \pm 0.036	0.050 \pm 0.017
Toro joven	Fresca	139	13.26 \pm 1.91 ^a	1.91 \pm 0.27 ^a	0.319 \pm 0.044 ^a	0.049 \pm 0.021 ^a
	Cálida	89	13.17 \pm 2.33 ^a	1.77 \pm 0.23 ^b	0.299 \pm 0.039 ^b	0.050 \pm 0.020 ^a
		228	13.23 \pm 2.08	1.86 \pm 0.26	0.311 \pm 0.043	0.049 \pm 0.021
Vaquilla	Fresca	43	13.57 \pm 2.24 ^a	1.77 \pm 0.22 ^a	0.300 \pm 0.038 ^a	0.056 \pm 0.023 ^a
	Cálida	21	12.61 \pm 1.57 ^a	1.71 \pm 0.18 ^a	0.287 \pm 0.032 ^a	0.054 \pm 0.023 ^a
		64	13.25 \pm 2.09	1.75 \pm 0.21	0.295 \pm 0.036	0.055 \pm 0.023
Toro	Fresca	2	18.57 \pm 9.84 ^a	2.89 \pm 1.34 ^a	0.480 \pm 0.226 ^a	0.056 \pm 0.033 ^a
	Cálida	26	14.40 \pm 2.25 ^a	2.08 \pm 0.26 ^b	0.339 \pm 0.033 ^b	0.058 \pm 0.030 ^a
		28	14.70 \pm 3.08	2.14 \pm 0.42	0.349 \pm 0.065	0.057 \pm 0.030
Vaca joven	Fresca	4	17.45 \pm 1.97 ND	2.20 \pm 0.56 ND	0.373 \pm 0.088 ND	0.084 \pm 0.034 ND
	Cálida	1	16.22 ND	1.77 ND	0.318 ND	0.050 ND
		5	17.20 \pm 1.79	2.11 \pm 0.52	0.360 \pm 0.081	0.077 \pm 0.033
Vaca adulta	Fresca	2	13.85 \pm 1.62 ^a	2.31 \pm 0.27 ^a	0.385 \pm 0.049 ^a	0.039 \pm 0.005 ^a
	Cálida	4	14.04 \pm 1.44 ^a	2.16 \pm 0.07 ^a	0.360 \pm 0.014 ^a	0.041 \pm 0.007 ^a
		6	13.97 \pm 1.34	2.21 \pm 0.15	0.368 \pm 0.028	0.040 \pm 0.006
General	Fresca	250	13.42 \pm 2.17 ^a	1.87 \pm 0.30 ^a	0.313 \pm 0.049 ^a	0.051 \pm 0.022 ^a
	Cálida	177	13.31 \pm 2.23 ^a	1.81 \pm 0.24 ^b	0.304 \pm 0.038 ^b	0.050 \pm 0.021 ^a
		427	13.37 \pm 2.19	1.84 \pm 0.28	0.310 \pm 0.045	0.051 \pm 0.021

^{ab} Literales diferentes entre temporadas del año dentro de clase de bovino, indica diferencia estadística (Prueba de Tukey, $p < 0.05$). ND=No determinado, debido a $n=1$ en temporada cálida.

De acuerdo a los resultados se observa que la disponibilidad de espacio en corral, asignación de sombra y la disponibilidad de comedero y bebedero para becerros, becerras, vaquillas y vaca adulta, no presentan diferencia significativa ($P>0.05$), entre temporadas del año; es decir, sin importar la temporada del año, se alojan a los bovinos en el corral de engorda y se asignan en promedio $12.6 \text{ m}^2/\text{cabeza}$ en el caso de becerros, $13.68 \text{ m}^2/\text{cabeza}$ a las becerras, $13.23 \text{ m}^2/\text{cabeza}$ a toro joven, $13.25 \text{ m}^2/\text{cabeza}$ a las vaquillas, $14.7 \text{ m}^2/\text{cabeza}$ a los toros, $17.20 \text{ m}^2/\text{cabeza}$ a vaca joven y $13.97 \text{ m}^2/\text{cabeza}$ a las vacas adultas. No obstante, se observó diferencia ($P<0.05$) en la disponibilidad de sombra para toro joven (1.91 vs $1.77 \text{ m}^2/\text{cabeza}$) y para toro adulto (2.89 vs $2.08 \text{ m}^2/\text{cabeza}$), así como en disponibilidad de comedero: 0.319 vs $0.299 \text{ m lineales/cabeza}$ para toro joven y de 0.480 vs $0.399 \text{ m lineales/cabeza}$ para toro adulto. Las cifras de mayor magnitud en estas variables corresponden a la temporada fresca del año. En términos generales para todas las clases de ganado no se observaron diferencias entre las temporadas fresca y cálida del año para las variables asignación de espacio en corral de engorda ($13.37 \pm 2.19 \text{ m}^2/\text{cabeza}$), disponibilidad de sombra ($1.84 \pm 0.28 \text{ m}^2/\text{cabeza}$), de comedero ($0.310 \pm 0.025 \text{ m lineales/cabeza}$) y de bebedero ($0.051 \pm 0.021 \text{ m lineales/cabeza}$).

La relevancia de estas variables durante el ciclo de producción de carne bovina en el corral de engorda, radica en la disponibilidad de espacio, lo que favorece la expresión natural de la conducta innata de los bovinos (Macitelli y Paranhos da Costa, 2024). Por otro lado, la reducción del espacio vital impacta de forma desfavorable en el bienestar del ganado (Macitelli *et al.*, 2020); al otorgar mayor espacio en el corral de engorda se propicia principalmente la expresión conductual positiva tal como el acicalamiento incluso la expresión de juego y que con ellos se disminuya la conducta agonista tales como topetazos, montas y desplazamientos ya que a través de su diagnóstico es posible interpretar altas cargas calóricas ambientales y su efecto negativo en la conducta bovina (Salvin *et al.*, 2020; Lees *et al.*, 2020; Idris *et al.*, 2024).

En relación con la provisión de sombra se prioriza que en las condiciones climáticas adversas donde la persistencia de alta temperatura ambiental es prolongada a lo largo del año, como ocurre en las regiones tropicales en donde se han desarrollado sistemas productivos intensivos (Hernández *et al.* 2022), se asegura proveer de una forma de

mitigación en el corral de engorda primordialmente en las horas del día cuando la intensidad de la radiación solar es severa e impacta de forma negativa en el bienestar de los bovinos (Hagenmaier *et al.*, 2016). Lo cual es diferente en condiciones de pastoreo, donde los bovinos buscan algún lugar sombreado principalmente arbolado para mitigar los efectos de la alta carga calórica ambiental y protegerse de la radiación solar mediante la provisión de un microclima generado por la misma vegetación del sitio de pastoreo (Améndola *et al.*, 2016; Temple y Manteca, 2020; do Nascimento *et al.*, 2022;). Sin embargo, en el corral de engorda intensiva dependen de la provisión de sombra que les proporcione mejores condiciones de confort que propicien la reducción del impacto negativo tanto en los indicadores productivos como en los indicadores conductuales (Idris *et al.*, 2023). Aunque el impacto general del estrés térmico en el ganado bovino es bastante variado, desde poco o ningún efecto en una exposición breve, hasta causar la reducción en el consumo de alimento, afectar el crecimiento y el bienestar del ganado en un evento moderado, o la muerte cuando los bovinos son susceptibles durante un evento extremo (Brown-Brandl y Jones, 2007).

En la producción intensiva de carne bovina es primordial el abastecimiento de recursos alimenticios y el agua, como parte importante no solo del bienestar sino también del rendimiento productivo y de salud óptima del ganado en el corral de engorda (Salvin *et al.*, 2020). El acceso de los bovinos al comedero no solo está determinado por la disponibilidad de espacio lineal, sino que también influye la cantidad de espacio por cabeza asignado en el corral de engorda, a menor espacio será mayor la competencia por el acceso al comedero, aunque la disponibilidad de este sea equivalente (Macitelli *et al.*, 2020; Romo *et al.*, 2022). Es importante que al momento de que el alimento sea servido por el servicio de alimentación, concurren al mismo tiempo el mayor número de bovinos alojados en el corral de engorda, que acuden motivados para acceder de manera inmediata a la dieta integral, misma que le facilita al ganado satisfacer los requerimientos nutrimentales de materia seca, proteína, energía, vitaminas y minerales (Lalman y Holder, 2024). Harrison y Oltjen (2021), determinaron que la reducción del espacio en los comederos y el aumento de la competencia probablemente alteraron el comportamiento alimentario normal, lo que causó fluctuaciones en el consumo diario, disminución de la ganancia diaria de peso y de la

eficiencia alimenticia; cuando se incrementó el espacio de comedero se observaron mejoras en estas variables. Por su parte Van Niekerk y Jacobs (1985), afirman que la reducción de espacio en el comedero no afectó el rendimiento de bovinos descornados, en manejo alimenticio a libre acceso. Corkum *et al.* (1994), al examinar el comportamiento del consumo voluntario en bovinos, descartaron la influencia de la reducción de la conducta de alimentación debido al efecto del número de comederos disponibles en el corral de engorda. Llonch *et al.* (2018) determinaron que los bovinos dominantes comen con mayor frecuencia y durante más tiempo porque la reducción de la competencia en el comedero pudiera mejorar la eficiencia alimentaria en el corral de engorda, lo cual es influido por el temperamento del ganado. Al respecto Hubbard *et al.* (2021), afirman que es necesaria mayor investigación acerca del temperamento del ganado bovino, su relación con la dominancia jerárquica durante el acceso al comedero y la conducta alimentaria.

Por otra parte, pero no menos importante es el suministro de agua. La cantidad y la calidad del agua es una consideración importante no solo para asegurar el bienestar del ganado en los corrales de engorda; el consumo diario de agua está influenciado por varias funciones corporales, incluidas, entre otras, la regulación de la temperatura corporal central, el crecimiento, la digestión y el metabolismo, y la hidrólisis de proteínas, grasas y carbohidratos (Lees *et al.*, 2019). En el caso de los corrales de engorda, es importante garantizar que se pueda satisfacer el suministro adecuado durante todas las épocas del año. Arias y Mader (2011) destacan que el consumo de agua es 87.3% en verano que en invierno (32.4 L/día vs 17.3 L/día). La temperatura del agua potable es un factor importante que influye en el consumo; sin embargo, existe una variación considerable dentro de la literatura en cuanto a la temperatura óptima en relación con las condiciones ambientales propiciadas por las variables climáticas que incluyen a la temperatura del aire, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento, así como la temperatura del suelo, además de otros factores como la misma actividad de los animales, precipitación pluvial, depósitos de estiércol y de materia orgánica, pueden limitar el consumo de agua en el corral de engorda (Arias y Mader, 2023), de tal manera que la limpieza regular de los bebederos también

es esencial, especialmente cuando los bebederos se comparten entre corrales, ya que esto presenta un mayor riesgo de transmisión de enfermedades (Llonch *et al.*, 2023).

6.3 Respuesta productiva en el corral de engorda

En el Cuadro 8 se presentan los resultados del comportamiento productivo de lotes de machos en finalización intensiva según clase de ganado y temporada. No hubo diferencia ($P>0.05$) en peso inicial y peso final en toros jóvenes y toros adultos en las temporadas cálida y fresca. Sin embargo, los becerros tuvieron mayor peso al inicio de la engorda 45.5 kg y 22.9 kg al final de la engorda en la temporada fresca ($P<0.05$). En lo general una y otra variable mostraron similitud ($P>0.05$) al comparar las dos temporadas. En condiciones de estrés por calor no solamente se perturba el bienestar del ganado, sino que también es afectado su rendimiento productivo reflejado en el peso corporal (Silanikove, 2000). De acuerdo con Mitlöner *et al.* (2002) en el ganado sometido a estrés por calor se afecta de manera negativa la respuesta productiva en el corral de engorda, principalmente debido a cambios en las funciones biológicas y de aspectos conductuales en las horas de más alta exposición a las condiciones ambientales adversas (Dikmen *et al.*, 2012). Estos cambios incluyen la disminución del consumo de alimento (Hahn, 1999) y el impacto negativo que conlleva a alcanzar menor peso corporal al final del periodo de alimentación (Chahuan *et al.*, 2023).

En el consumo de materia seca se observó interacción significativa ($P<0.05$) entre temporada y clase de ganado (Figura 1). Esto quiere decir que la temporada del año influye para aumentar o disminuir el consumo de alimento. En el caso de los toros adultos, el consumo de alimento disminuye en la temporada fresca de 8.86 kg a 6.66 kg, respectivamente; en tanto que, en becerros y toros jóvenes, el consumo de alimento se incrementa ($P<0.05$) en la temporada fresca del año. El consumo de materia seca describe la cantidad de alimento consumido por un animal (Connor, 2015). En general el consumo de materia seca se reduce durante la temporada de verano en todas las especies productivas (Habeeb *et al.*, 2018); en condiciones extremas de estrés por calor ocurre una relación negativa entre el consumo de materia seca y el índice de temperatura y humedad el cual disminuye a medida que el ganado bovino resiente los efectos de las ondas de calor. La magnitud de esta reducción es

del orden de los 0.45 kg/día debido al incremento del ITH (Chang-Fung-Martel *et al.*, 2021). Sin embargo, al proporcionar sombra a los corrales de finalización de bovinos, Mejía Turcios *et al.* (2024) observaron similitudes en el consumo de materia seca (8.75 kg/d) durante la temporada de verano. Se conoce que el potencial productivo de las especies de ganado es mayor en la zona termoneutral (ZTN), luego entonces si la temperatura ambiente excede la ZTN y supera la temperatura crítica, el ganado queda expuesto a condiciones de estrés térmico (Mishra, 2021) y con ello, se afecta el consumo de alimento.

En la temporada cálida, la ganancia diaria de peso fue similar ($P>0.05$) entre machos (becerros, toros jóvenes y toros adultos; 1.33 ± 0.03 kg); misma situación se observó en la temporada fresca (1.25 ± 0.03 kg). Entre temporadas no se observaron diferencias en esta variable. La ganancia diaria promedio (GDP) estima cuánto aumenta el peso corporal de un animal por día durante un período de tiempo específico. Debido a que los bovinos productores de carne generalmente se alimentan hasta un cierto peso final, los animales que alcanzan ese objetivo más rápidamente pueden aumentar la rentabilidad de la unidad de producción (Lakamp *et al.*, 2022). En tal sentido, en un establecimiento comercial especializado para la engorda de bovinos y bajo condiciones de estrés térmico leve, se registraron promedios de GDP desde 1.92 ± 0.13 a 2.05 ± 0.13 kg, en un periodo de 70 días de alimentación intensiva (Miller *et al.*, 2024). Por otra parte, Winders *et al.* (2023) refieren GDP favorecida por el uso de sombra de 1.77 kg a 1.83 kg en condiciones climáticas adversas la mayor parte del periodo de engorda bovina (ITH entre 60 y 90 unidades). Moletta *et al.* (2014), por su parte registraron mayor ganancia diaria promedio en toros que en novillos (1.33 vs 1.12 kg/d); estos valores son similares a los registrados en el presente estudio.

La conversión alimenticia en la temporada cálida en la categoría de machos fue mejor ($P<0.05$) que en la temporada fresca (5.46 kg/kg vs 4.71 kg/kg), tanto para los becerros, así como en toros jóvenes (5.36 k/kg/ vs 5.64 kg/kg). No se observaron diferencias en toros adultos, ni en los promedios generales entre las dos temporadas. La eficiencia alimenticia fue mejor ($P>0.05$), debido a que la GDP y la eficiencia alimenticia están estrechamente vinculadas al costo de la ganancia, las medidas de

eficiencia alimenticia son importantes para los sectores comerciales de vacas y terneros, de engorde y de corrales de engorde (Lakamp *et al.*, 2022).

En relación con el peso de la canal caliente en el presente estudio, no se observaron diferencias entre la categoría de machos por temporada ni en los promedios generales (308.51 ± 1.81 kg; $P > 0.05$), así como en el rendimiento de la canal (60.76 ± 0.16 %).

En el Cuadro 9 se presentan los resultados de la respuesta productiva y rendimiento en canal de lotes de hembras en finalización intensiva según la temporada y la clase de ganado; no se observaron diferencias en el peso final en ninguna de las clases, ni por efecto de temporada, ni entre los promedios generales (466.9 ± 4.0 kg; $P > 0.05$).

De igual manera, el consumo de materia seca fue similar entre clases de bovino por temporada y en lo general (7.46 ± 0.18 kg/d). Este efecto es contrario al referido por Brown-Brandl *et al.* (2017), quienes afirman que para mitigar condiciones ambientales adversas durante la permanencia en el corral de engorda, los bovinos tienden a disminuir la temperatura corporal y en consecuencia se disminuye el consumo de alimento.

Con relación a la ganancia diaria de peso, en las becerras fue mayor ($P < 0.05$) en la temporada cálida que en la temporada fresca (1.26 ± 0.02 kg/d vs 1.21 ± 0.01 kg/d); en vaquillas, vacas jóvenes y vacas adultas fue similar entre temporadas ($P < 0.05$), de igual manera en los promedios generales (1.26 ± 0.01 kg/d; $P > 0.05$). La conversión alimenticia en becerras fue mejor (5.30 ± 0.28 kg/kg vs 5.78 ± 0.21 kg/kg; $P < 0.05$) en la temporada cálida, de igual manera para el caso de las vaquillas (5.46 ± 0.26 kg/kg vs 6.02 ± 0.18 kg/kg; $P < 0.05$). En vacas jóvenes y vacas adultas, no se observaron diferencias, ni en lo general entre temporadas (5.98 ± 0.19 kg/kg vs 6.01 ± 0.14 kg/kg; $P > 0.05$). Lage *et al.* (2012), al evaluar efecto de género en el consumo de alimento determinaron que en la ganancia diaria promedio no hubo efecto del género y, en consecuencia, no se observaron diferencias en el peso final entre los grupos de género en bovinos. En general, se conoce que el género de los bovinos influye no sólo en la ganancia diaria de peso, sino también en la composición de la canal y calidad de la carne. Por ejemplo, las hembras llegan al punto de matanza con menor peso corporal que los machos castrados y estos a su vez presentan menor peso corporal que los machos enteros (Martínez, 2023). En la expresión de los indicadores productivos en

bovinos influyen factores como el tipo racial, estructura del grupo en el corral de engorda, género, manejo de la alimentación y las condiciones ambientales. Así mismo, el estatus de género ejerce un fuerte efecto sobre la tasa de crecimiento relativo y la eficiencia alimentaria (Purwin *et al.*, 2024); por lo que los resultados del presente trabajo pueden tener similitudes o discrepancias con los de otros autores, tal como lo expresan Valdez-Noriega *et al.* (2020), quienes afirman que la estabilidad de la temperatura ambiente favorece la mejor expresión de la ganancia de peso. Por el contrario, en los bovinos expuestos a condiciones ambientales desfavorables se muestra una reducción de la tasa de ganancia de peso y la eficiencia alimenticia es baja.

Cuadro 8. Respuesta productiva y rendimiento en canal de lotes de machos en finalización intensiva según la temporada y la clase de bovinos¹

Clase	Becerras		Toros jóvenes		Toros adultos		General	
	Cálida	Fresca	Cálida	Fresca	Cálida	Fresca	Cálida	Fresca
Lotes	18	29	89	139	26	2	133	170
PIP, kg	187.95 ± 8.91 ^b	233.43 ± 6.99 ^a	279.35 ± 6.97	287.93 ± 6.25	400.19 ± 9.52	348.28 ± 27.39	295.20 ± 7.33	269.41 ± 7.37
PFP, kg	482.52 ± 6.81 ^b	505.44 ± 5.33 ^a	527.16 ± 3.62	522.93 ± 3.24	495.21 ± 10.37	457.64 ± 29.84	517.60 ± 3.39	515.90 ± 3.41
CMS, kg	6.41 ± 0.29 ^b	7.19 ± 0.23 ^a	7.53 ± 0.13 ^b	7.84 ± 0.10 ^a	8.86 ± 0.24	6.66 ± 0.86	7.74 ± 0.14	7.68 ± 0.14
GDP, kg	1.37 ± 0.03	1.32 ± 0.03	1.42±0.01	1.39 ± 0.06	1.22 ± 0.06	1.05 ± 0.02	1.38 ± 0.01	1.38 ± 0.01
CA, kg/kg	4.71 ± 0.28 ^b	5.46 ± 0.22 ^a	5.36 ± 0.12 ^a	5.64 ± 0.10 ^b	7.58 ± 0.23	6.43 ± 0.83	5.75 ± 0.14	5.58 ± 0.14
EA, kg/kg	0.216±0.005 ^a	0.184±0.004 ^b	0.191±0.005 ^a	0.179±0.011 ^b	0.152±0.004	0.157 ± 0.004	0.186 ± 0.003	0.180 ± 0.003
PCC, kg	309.4 ± 4.1	308.0 ± 3.2 ^a	307.8 ± 1.8	308.0 ± 1.5	305.1 ± 3.4	293.7 ± 12.2	309.20 ± 1.81	307.82 ± 1.82
RCC, %	60.5 ± 0.42	61.1 ± 0.33	60.5 ± 0.19	60.6 ± 0.15	61.1 ± 0.35	60.4 ± 1.25	60.75 ± 0.16	60.77 ± 0.16

¹Media ± error estándar.

PIP=peso inicial promedio; PFP=peso final promedio; CMS=consumo de materia seca; GDP=ganancia diaria de peso; CA=conversión alimenticia; EA=eficiencia alimenticia; PCC=peso de canal caliente; RCC=rendimiento de canal caliente.

^{ab} Literales diferentes en cada clase de machos entre temporada, indican diferencia estadística ($p < 0.05$).

Cuadro 9. Respuesta productiva y rendimiento en canal de lotes de hembras en finalización intensiva según la temporada y la clase de bovinos.

Clase	Becerras		Vaquillas		Vacas jóvenes ²		Vacas adultas		General	
	Cálida	Fresca	Cálida	Fresca	Cálida	Fresca	Cálida	Fresca	Cálida	Fresca
Lotes	18	31	21	43	1	4	4	2	44	122
PIP, kg	198.22 ± 7.42	213.36 ± 4.97	249.96 ± 8.09	269.23 ± 6.83	374.26±16.25	319.38±6.75	358.29±12.18	371.76±21.09	251.66 ± 8.46	250.41 ± 6.48
PFP, kg	448.61 ± 4.24	449.15 ± 2.84	478.86 ± 5.85	476.46 ± 4.94	539.49±38.42	504.54±15.95	444.85±12.41	467.94±21.50	467.16 ± 4.54	466.81 ± 3.48
CMS, kg	6.67 ± 0.29 ^b	7.00 ± 0.22 ^a	7.10 ± 0.27 ^b	7.60±0.19 ^a	7.30	8.47 ± 0.61	11.31±0.61	9.40±0.86	7.52 ± 0.18	7.41 ± 0.14
GDP, kg	1.26 ± 0.02 ^b	1.21 ± 0.01 ^a	1.31 ± 0.03	1.37±0.02	1.06	1.33 ± 0.06	1.22±0.08	1.12±0.08	1.28 ± 0.01	1.24 ± 0.01
CA, kg/kg	5.30 ± 0.28 ^b	5.78 ± 0.21 ^a	5.46 ± 0.26 ^b	6.02±0.18 ^a	6.87	6.41 ± 0.59	9.70±0.59	8.51±0.83	5.98 ± 0.19	6.01 ± 0.14
EA, kg/kg	0.191±0.005 ^a	0.174±0.004 ^b	0.186±0.005 ^a	0.167±0.003 ^b	0.146	0.157±0.011	0.122±0.011	0.119±0.016	0.178 ± 0.004	0.168 ± 0.003
PCC, kg	293.2 ± 4.1	292.4 ± 3.1	298.1 ± 3.8	297.8 ± 2.6	286.8	293.1±8.7	295.6±8.7	273.9±12.2	295.52 ± 2.45	293.90 ± 1.88
RCC, %	60.7 ± 0.42 ^b	61.6 ± 0.32 ^a	60.7 ± 0.39	61.0 ± 0.27	57.4	61.8±0.89	61.9±0.89 ^a	56.7±1.25 ^b	60.70 ± 0.36	61.21 ± 0.27

¹Media ± error estándar.

PIP=peso inicial promedio; PFP=peso final promedio; CMS=consumo de materia seca; GDP=ganancia diaria de peso; CA=conversión alimenticia; EA=eficiencia alimenticia; PCC=peso de canal caliente; RCC=rendimiento de canal caliente.

^{ab} Literales diferentes en cada clase de hembras entre temporada, indican diferencia estadística ($p < 0.05$).

² No se realizó la comparación (temporada cálida n=1).

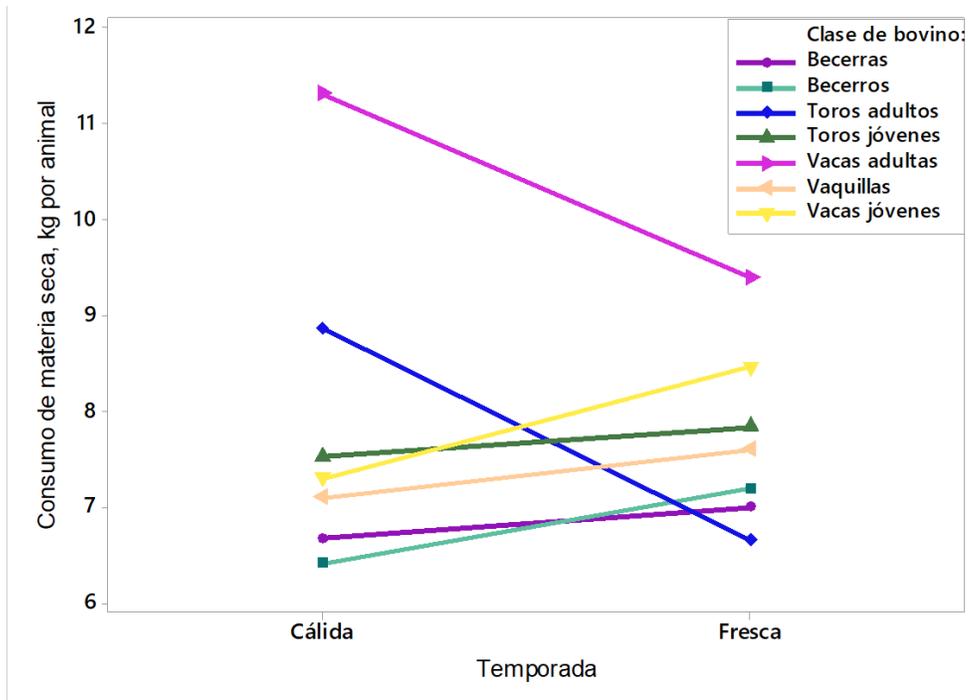


Figura 2. Interacción para consumo de materia seca por temporada del año y clase de bovino en finalización.

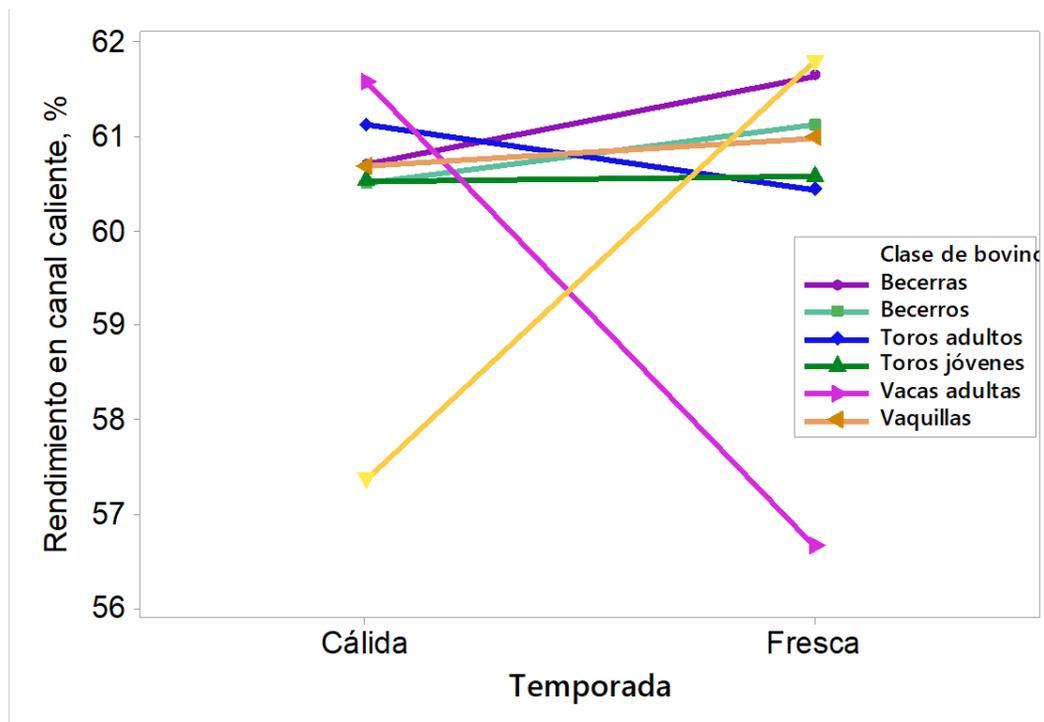


Figura 3. Interacción para rendimiento en canal caliente según la temporada y la clase de bovino en finalización

El peso de la canal caliente fue similar ($P>0.05$) entre las distintas clases de hembras, sin efecto por temporada del año, ni en el promedio general (294.75 ± 2.16 kg). Macitelli *et al.* (2024), refieren un peso en canal promedio de 294.42 ± 1.23 kg, en bovinos alimentados durante 103 días de forma intensiva.

En la Figura 3 se observa que el rendimiento en canal es más consistente en hembras en relación con la temporada del año y es más considerable en vacas adultas y vaquillas. En la temporada cálida las vaquillas tuvieron un rendimiento en canal de 57%, por el contrario, en la temporada fresca se registró un rendimiento en canal de 62%; en cambio en las vacas adultas es evidente el efecto de la temporada fresca en la reducción del rendimiento de la canal al pasar de 61% a 56%. Torrescano *et al.* (2010), indica que el rendimiento en canal es una variable importante, ya que indica la eficiencia del corral de engorda.

Por efecto de temporada del año, el rendimiento en canal de las becerras fue mayor ($P<0.05$) en la temporada fresca ($61.6 \pm 0.32\%$ vs $60.7 \pm 0.42\%$) y en vacas adultas fue menor ($P<0.05$) en la temporada fresca ($56.7 \pm 1.25\%$ vs $61.9 \pm 0.89\%$). En otras categorías y en los promedios generales por temporada no se observa efecto. Un aspecto importante relacionado con la intensificación de la producción de ganado bovino productor de carne es la disminución de la edad de sacrificio de los bovinos y el impacto que pueda tener esta práctica en el peso y rendimiento de la canal. Al respecto Cattelam *et al.* (2018), al analizar los pesos de la canal y los rendimientos según el género del ganado, no observaron diferencia, esta situación se atribuye a la similitud en el peso al sacrificio. De igual manera Fernandes *et al.* (2008), al evaluar el peso y rendimiento de la canal de diferentes clases de bovinos finalizados en el corral de engorda observaron similitudes en ambas características. En contraste, al valorar el peso y rendimiento de la canal de vacas adultas vs novillos, Pacheco *et al.* (2013), observaron diferencias en el peso de la canal caliente (303.5 vs 242.5 kg), pero el rendimiento fue similar (49.2 %). Al comparar el peso y el rendimiento de la canal de toros vs novillos, Nunes do Prado *et al.* (2015), registraron mayor peso de la canal caliente en los toros (265.12 vs 221.18 kg), esto significa 43.44 kg de diferencia (16.57 %), aunque el peso inicial fue de 337.71 y 310.42 kg respectivamente, lo que significa una diferencia de 27.29 kg

(8.08 %); sin embargo, el porcentaje de rendimiento en canal fue similar entre grupos (51.88 %).

VII. CONCLUSIONES

El análisis de la información de la Unidad de Producción Pecuaria productora de carne de bovino en finalización intensiva demostró que al relacionar el diseño del corral de engorda por clase de bovino con la temporada del año, que en el caso particular de las hembras no hay criterio para asignar espacio en corral ni de sombra disponible. No obstante, para los machos jóvenes y adultos, si se aprecia disponibilidad de sombra conforme a la temporada del año. Aun así, este indicador es inferior al sugerido para las unidades de producción de bovinos de carne.

Al valorar el efecto de la temporada del año con los indicadores productivos de los bovinos en finalización, la temporada fresca contribuyó a la mejora del peso final de los bovinos jóvenes; este efecto no se observó en otras variables productivas por efecto de temporada en la misma clase. En becerras la conversión alimenticia y el rendimiento de la canal resultaron afectados por la temporada cálida.

Al valorar el efecto de la clase y la temporada del año con los indicadores productivos, la temporada fresca favoreció el rendimiento de la canal en vaquillas, pero afectó este indicador en las vacas adultas. En machos estos indicadores se mantuvieron sin efecto durante ambas temporadas del año.

VIII. LITERATURA CITADA

- Améndola L, Solorio FJ, Ku-Vera JC, Améndola-Massiotti RD, Zarza H, Galindo F. 2016. Social behaviour of cattle in tropical silvopastoral and monoculture systems. *Animal* 10:863–867. doi:10.1017/S1751731115002475.
- Arias RA, Mader TL, Escobar PC. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 40:7-22.
- Arias RA, Mader TL. 2010. Determination of potential risk of heat stress of cattle in four locations of Central and Southern Chile. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 42:33-39.
- Arias RA, Mader TL. 2011. Environmental factors affecting daily water intake on cattle finished in feedlots. *Journal of Animal Science*. 89:245–251. doi:10.2527/jas.2010-3014
- Arias RA, Mader TL. 2023. Evaluation four thermal comfort indices and their relationship with physiological variables in feedlot cattle. *Animals*. 13:1169. <https://doi.org/10.3390/ani13071169>
- Arias RA, Mader TL. 2023. Pen surface temperature as a predictor of daily water intake and tympanic temperature in steers finished in feedlots. *Animals*. 13: 1150. <https://doi.org/10.3390/ani13071150>
- Arkin H, Kimmel E, Herman A, Broday D. 1991. Heat transfer properties of dry and wet furs of dairy cows. *Transactions of the ASAE*. 34:2550-2558.
- Arndt SS, Goerlich VC, van der Staay FJ. 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 In Animal Science*. 3:908513. doi: 10.3389/fanim.2022.908513.
- Barajas Cruz R, Cervantes Pacheco BJ, Velázquez Elenes EA, Romo Rubio JA, Aguirre Ortega J, Martínez González S, García DE. 2010. 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.
- Barajas R, Felix J.A. 2002. Effect of shade in feedlot pen on growth performance of Brahman bull calves during heat raining season under Mexican dry tropic

- environment. *Journal of Animal Science*. 80(Suppl 1):229.
- Barajas R, Garces P, Zinn RA. 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.
- Barragán-Hernández WA, Mahecha-Ledesma L, Cajas-Jirón YS. 2015. Physiological-metabolic variables of heat stress in cows grazing in silvopastoral systems and in one treeless prairie. *Agronomía Mesoamericana*. 26:211–223. <https://doi.org/10.15517/am.v26i2.19277>.
- Baumgard LH, Rhoads RP. 2007. The effects of hyperthermia on nutrient partitioning. *Proceedings Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers*. Disponible: <https://sid.ir/paper/620610/en>.
- Baumgard LH, Rhoads RP. 2012. Ruminant Nutrition Symposium: ruminant production and metabolic responses to heat stress. *Journal of Animal Science*. 90:1855–1865.
- Bernabucci U, Lacetera N, Baumgard LH, Rhoads RP, Ronchi B, Nardone A. 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal* 4:1167–1183. doi:10.1017/S175173111000090X.
- Blaine KL, Nsahlai IV. 2011. The effects of shade on performance, carcass classes and behaviour of heat-stressed feedlot cattle at the finisher phase. *Tropical Animal Health and Production*. 43:609-615.
- Brown Brandl TM, Eigenberg RA, Hahn GL, Nienaber JA, Mader TL, Spiers DE, Parkhurst AM. 2005. Analyses of thermoregulatory responses of feeder cattle exposed to simulated heat waves. *International Journal of Biometeorology*. 49:285–296.
- Brown-Brand TM, Jones DD. 2007. Development and validation of an animal susceptibility model. *American Society of Agricultural and Biological Engineers. Annual International Meeting*. Minneapolis, Minnesota. USA.
- Brown-Brandl TM, Chitko-McKown CG, Eigenberg RA, Mayer JJ, Welsh TH, Davis JD, Purswell JL. 2017. Physiological responses of feedlot heifers provided access to different levels of shade. *Animal*. 11:1344-1353.
- Brown-Brandl, T.M., Eigenber, R., Nienaber, J.A. and Hahn, G.L. 2005b. Dynamic

- response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle. Part 1: Analyses of Indicators. *Biosystems Engineering*. 90:451-462. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2004.12.006.
- Castro-Pérez BI, Estrada-Angulo A, Ríos-Rincón FG, Núñez-Benítez VH, Rivera-Méndez CR, Urías-Estrada JD, 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 Science*. 33:1034.
- Cattellam J, Argenta FM, Alves DC, Brondani IL, Pacheco PS, Fernandes RP, Retamoso MA, da Silva RL, Machado MP, Klein JL. 2018. Characteristics of the carcass and quality of meat of male and female calves with different high-grain diets in confinement. *Semina: Ciências Agrárias*. 39:667-681. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n2p667>.
- Chang-Fung-Martel J, Harrison MT, Brown JN, Rawnsley R, Smith AP, Meinke H. 2021. Negative relationship between dry matter intake and the temperature-humidity index with increasing heat stress in cattle: a global meta-analysis. *International Journal of Biometeorology*. 65:2099-2109.
- Chahuan SS, Zhang S, Osei-Amponsah R, Clarke I, Sejian V, Warner R, Dunshea FR. 2023. Impact of heat stress on ruminant livestock production and meat quality, and strategies for amelioration. *Animal Frontiers*. 13:59-68.
- Chauhan SS, Rashamol VP, Bagath M, Sejian V, Dunshea FR. 2021. Impacts of heat stress on immune responses and oxidative stress in farm animals and nutritional strategies for amelioration. *International Journal of Biometeorology*. 65:1231-1244.
- Clariget JM, Banchemo GE, Aznárez V, Perez EF, Roig G, Fernandez E, La Manna A. 2018. Mitigación del estrés calórico en novillos terminados a corral. *Revista Argentina de Producción Animal*. 38:1-13.
- Collier RJ, Collier JL, Rhoads RP, Baumgard LH. 2008. Invited review: Genes involved in the bovine heat stress response. *Journal of Dairy Science*. 91:445-454. doi: 10.3168/jds.2007-0540.

- Collier RJ, Gebremedhin KG. 2015. Thermal biology of domestic animals. Annual Review of Animal Biosciences. 3:513-532. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022114-110659>.
- COMECARNE. 2024. Compendio Estadístico. Consejo Mexicano de la Carne. Disponible en: www.comercarne.org.
- CONAGUA. 2024. Reporte anual del clima en México 2023. Comisión Nacional del Agua. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. Ciudad de México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>.
- Connor EE. 2015. Invited review: Improving feed efficiency in dairy production: challenges and possibilities. Animal. 9:395-408. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002997>.
- Corkum MJ, Bate LA, Tennessen T, Lirette A. 1994. Consequences of reduction of number of individual feeders on feeding behaviour and stress level of feedlot steers. Applied Animal Behaviour Science. 41:27-35.
- Costa EF, Giuliadori MJ, Dezzilio M, Romero JR. 2003. Mortalidad en un feedlot de La Plata (Buenos Aires, Argentina): causas, distribución mensual e impacto económico. Analecta Veterinaria. 23:13-19.
- Da Silva RG, Guilhermino MM, de Morais DAEF. 2010. Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture. International Journal of Biometeorology. 54:5-11.
- Da Silva RG. 2006. Weather and climate and animal production. In: Update of the guide to agricultural meteorological practices. WMO-No.134.
- Davis MK, Engle TE, Cadaret CN, Cramer MC, Bigler LJ, Wagner JJ, Edwards-Callaway LN. 2022. Characterization heat mitigation strategies utilized by beef processors in the United States. Translational Animal Science. 6:1-8. <https://doi.org/10.1093/tas/txab231>.
- Del Angel LG, Escalona MA, Baca del Moral J, Cuevas V. 2023. Principios y prácticas agroecológicas para la transición hacia una ganadería bovina sostenible. Revisión. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 14(3):696-724. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i3.6287>
- De Freitas VM, Leão KM, Araujo Neto FR, Marques TC, Ferreira RM, Garcia LLF, Oliveira EB. 2015. Effects of surgical castration, immunocastration and

- homeopathy on the performance, carcass characteristics and behaviour of feedlot-finished cross-bred bulls. *Semina: Ciências Agrárias*. 36:1725. 0.5433/16790359.2015v36n3p1725.
- Dikmen S, Hansen PJ. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*. 92:109–116. doi: 10.3168/jds.2008-1370.
- Dikmen S, Ustuner H, Orman A. 2012. The effect of body weight on some welfare indicators in feedlot cattle in a hot environment. *International Journal of Biometeorology*. 56:297-303. DOI 10.1007/s00484-011-0433-6.
- Do Nascimento BA, Barioni Jr W, Macedo PJR, de Campos BAC, de Faria PA, Righetti MC, Chagas JMA, Romanello N, Paula de Sousa MA, Nanni CL, Rosseto GA. 2022. Thermal comfort and behaviour 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 LN, Cramer MC, Cadaret CN, Bigler EJ, Engle TE, Wagner JJ, Clark DL. 2021. Impacts of shade on cattle well-being in the beef supply chain: Review. *Journal of Animal Science*. 99:1-21.
- Eigenberg RA, Brown-Brandl TM, Nienaber JA. 2010. Shade material evaluation using a cattle response model and meteorological instrumentation. *International Journal of Biometeorology*. 54:509-515.
- FAO. 2023. Avances y desafíos en la ganadería de América Latina y el Caribe - Medidas de mitigación apropiadas para cada país. Santiago, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc8210es>.
- Ferreira F, Pires MFA, Martinez ML, Coelho SG, Carvalho AU, Ferreira PM, Facury Filho EJ, Campos WE. 2006. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 58:732-738. <https://doi.org/10.1590/S0102-0935200600500005>.
- FIRA. 2024. Panorama agroalimentario. Carne de bovino. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Disponible en: www.fira.gob.mx.

- Fox J, Weisberg S. 2019. An R Companion to Applied Regression, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA. <https://www.john-fox.ca/Companion/>.
- García E. 2004. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- García JMP. 2014. Escenarios de sistemas de producción de carne de bovino en México. *Avances En Investigación Agropecuaria*. 18:53–62.
- Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Lisle A. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 86:226–234.
- González FAN, Macías JAG, Bautista JH, Castro JAJ. 2005. Caracterización de canales de ganado bovino en los valles centrales de Oaxaca. *Técnica Pecuaria en México*. 43:219-228.
- Grandin T. 2016. Evaluation of the welfare of cattle housed in outdoor feedlot pens. *Vet. Anim. Sci*. 1–2:23–28. doi: 10.1016/j.vas.2016.11.001.
- Gross J, Ligges U. 2015. `_nortest: Tests for Normality_`. R package version 1.0-4 Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=nortest>.
- Gutiérrez JP, Canon J, Goyache F. 1997. Estimation of direct and maternal genetic parameters for pre-weaning traits in the Asturiana de los Valles beef cattle breed through animal and sire models. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 114:261–266.
- Habbeb AAM, Gad AE, El-Tarabany AA, Atta MAA. 2018. Negative effects of heat stress on growth and milk production of farm animals. *Journal of Animal Husbandry and Dairy Sciences*. 2:1-12.
- 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. *Journal of Animal Science*. 94:5064-5076. doi:10.2527/jas2016-0935.
- Hahn GL, Gaughan JB, Mader TL, Eigenberg RA. 2009. Chapter 5: Thermal Indices and Their Applications for Livestock Environments. In J. A. DeShazer, ed. *Livestock Energetics and Thermal Environmental Management*, 113-130. St. Joseph, Mich.: ASABE. Copyright 2009 American Society of Agricultural and Biological Engineers. ASABE # 801M0309. ISBN 1-892769-74-3.

- Hahn GL. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science*. 77(suppl_2):10–20.
- Harrison MA, Oltjen JW. 2021. Effect of a reduction in linear bunk space on feedlot steer performance and body composition. *Translational Animal Science*, 5(Supplement_S1), S34-S37.
- Hassen A, Dawid I. 2021. Ruminant livestock production system adaptation strategies to climate change: A Review. *OAJRC Environmental Science*. 2:7-16.
- Henry BK, Eckard RJ, Beauchemin KA. 2018. Review: Adaptation of ruminant livestock production systems to climate changes. *Animal*. 12:52 s445-s456. doi:10.1017/S1751731118001301doi:10.1017/S1751731118001301.
- Hernandez A, Galina CS, Geffroy M, Jung J, Westin R, Berg Ch. 2022. Cattle welfare aspects of production systems in the tropics. *Animal Production Science* 62:1203–1218.doi:10.1071/AN21230.
- Hubbard AJ, Foster MJ, Daigle CL. 2021. Social dominance in beef cattle- A scoping review. *Applied Animal Behaviour Science*. 241:105390. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105390>.
- Huerta-Sanabria S, Arana-Coronado OA., Sagarnaga-Villegas LM., Matus-Gardea JA., Brambila-Paz JJ. 2018. Impacto del ingreso y carencias sociales sobre el consumo de carne en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9:1245-1258.
- Husen Harun MS, Bekere H, Hussen DH, Yusuf MA. 2022. Review on impact of climate change on livestock health and productivity. *BAOJ Nutri*. 1:1001.
- Idris M, Gay CC, Woods IG, Sullivan, Gaughan JB, Phillips CJC. 2023. Automated quantification of the behaviour of beef cattle exposed to heat load conditions. *Animals*. 13,1125. <https://doi.org/10.3390/ani13061125>.
- Idris M, Sullivan M, Gaughan JB, Phillips CJC. 2024. Behavioural responses of beef cattle to hot conditions. *Animals*. 14,2444. <https://doi.org/10.3390/ani14162444>.
- Kadzere CT, Murphy MR, Silanikove N, Maltz E. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science*. 77:59–91.

- Khalifa HH. 2003. Bioclimatology and adaptation of farm animals in a changing climate. In: Interaction between climate and animal production. Wageningen Academic. pp. 15-29.
- Koknaroglu H, Otles Z, Mader TL, Hoffman MP. 2008. Environmental factors affecting feed intake of steers in different housing systems in the summer. *International Journal of Biometeorology*. 52:419-429.
- Kuss F, Restle J, Brondani IL, Pascoal LL, Menezes LFGD, Pazdiora RD, Freitas LDS. 2005. Carcass characteristics of cull cows from different genetic groups feedlot finished and slaughtered with distinct weights. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 34:915-925.
- Lage INK, Paulino PVR, Pires CV, Villela SDJ, de Souza Duarte M, de Campos Valadares Filho S, Teixeira CRV. 2012. Intake, digestibility, performance, and carcass traits of beef cattle of different gender. *Tropical Animal Health and Production*. 44:361-367.
- Lagos GH, González GFJ, Castillo RF. 2014. Paquete tecnológico para la engorda de ganado bovino en corral. Disponible en: <https://www.producechihuahua.org/paqs/PT-0011EngordaGanado.pdf>
- Lakamp AD, Weaber RL, Borman JM, Rolf MM. 2022. Relationships between enteric methane production and economically important traits in beef cattle. *Livestock Science*. 265:105102. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105102>.
- Lalman D, Holder A. 2024. Nutrient requirements of beef cattle. Oklahoma State University. Extension. E-974. Disponible: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/nutrient-requirements-of-beef-cattle.html>.
- LCI. 1970. Patterns of transit losses, Livestock Conservation Inc. Omaha, USA.
- Lee CY, Henricks DM, Skelley GC, Grimes LW. 1990. Growth and hormonal response of intact and castrate male cattle to trenbolone acetate and estradiol. *Journal of Animal Science*. 68:2682-2689.
- Lee SM, Kim JY, Kim EJ. 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*. 25:1553-1558. DOI: 10.5713/ajas.2012.12254.

- Lees AM, Lees JC, Sejian V, Sullivan ML, Gaughan JB. 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>.
- Lees AM, Sejian V, Wallange AL, Steel CC, Mader TL, Lees JC, Gaughan JB. 2019. The impact of heat load on cattle. *Animals*. 9:322. doi:10.3390/ani9060322.
- Llonch L, Verdú M, Martí S, Medinya C, Riera J, Cucurull J, Devant M. 2023. Drinking water chlorination in dairy beef fattening bulls: water quality, potential hazards, apparent total tract digestibility, and growth performance. *Animal*. 17:100685. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100685>.
- Llonch P, Somarriba M, Duthie CA, Troy S, Roehe R, Rooke J, Haskell MJ, Turner SP. 2018. Temperament and dominance relate to feeding behaviour and activity in beef cattle: implications for performance and methane emissions. *Animal*. 12:2639-2648. <https://doi.org/10.1017/S1751731118000617>.
- Macitelli F, Braga JS, Gellatly D, da Costa MP. 2020. Reduced space in outdoor feedlot impacts beef cattle welfare. *Animal*. 14:2588-2597.
- Macitelli F, Paranhos da Costa MJR. 2024. Impact of pen space allowance in outdoor feedlot on cattle performance, and carcass and meat quality traits. *Research Square*. 1-18. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4714140/v1>.
- Mader TL, David MS, 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 TL. 2003. Environmental stress in confined beef cattle. *Journal of Animal Science*. 81:E110–E119.
- Marques JD, Prado IN, Moletta JL, Prado IM, Juliana Prado MD, Macedo LM, Souza NE, Matsushita M. 2006. Carcass and meat traits of feedlot finished heifers submitted to surgical or mechanical anestrous. *Brazilian Journal of Animal Science*. 35:1514-1522.
- Martínez ED. 2023. Implicaciones que influyen en el desempeño productivo, características de la canal y de la carne de ganado bovino engordado en corral. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 34:e24517.

<https://doi.org/10.15381/rivep.v34i3.24517>.

- Mejía Turcios SE, Rotz CA, McGlone J, Rivera CR, Mitloehner FM. 2024. Effects of heat stress mitigation strategies on feedlot cattle performance environmental, and economic outcomes in a hot climate. *Animal*. 18:101257. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101257>.
- Méndez RI, Namihira GR, Moreno AL, Sosa de MC. 1990. El protocolo de investigación: Lineamientos para su elaboración. Editorial Trillas. Segunda Edición. México. 210 pág.
- Microsoft Corporation. 2018. Microsoft Excel. Retrieved from <https://office.microsoft.com/excel>.
- Miller DW, Barnes AL, Collins T, Pannier L, Aleri J, Maloney SK, Anderson F. 2024. Welfare and performance benefits of shade provision during summer for feedlot cattle in a temperate climatic zone. *Journal of Animal Science*. Skae332. <https://doi.org/10.1093/jas/skae332>.
- Minitab LLC. 2017. Minitab 18. Retrieved from <https://www.minitab.com>.
- Mirsha SR. 2021. Thermoregulatory responses in riverine buffaloes against heat stress: An updated review. *Journal of Thermal Biology*. 96:102844. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102844>.
- Mitlöhner FM, Galyean ML, McGlone JJ. 2002. Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers. *Journal of Animal Science*. 80:2043–2050.
- Mitlöhner FM, Morrow JL, Dailey JW, Wilson SC, Galyean ML, Miller MF, McGlone JJ. 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.
- Moletta JL, Torrecilhas JA, Ornaghi MG, Passetti RAC, Eiras CE, Prado IND. 2014. Feedlot performance of bulls and steers fed on three levels of concentrate in the diets. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 36:323-328.
- Molina Benavides RA, Silva Aguilar F, Perilla Duque S, Sánchez Guerrero H. 2016. Caracterización del ambiente térmico para la actividad ganadera bovina en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*. 65:406-412.

- Montelli NLLL, Macitelli F, Silvabraga JD, Da Costa MJRP. 2019. Economic impacts of space allowance per animal on beef cattle feedlot. *Semina: Ciências Agrárias (Londrina)*. 40(6 Suppl. 3):3665-3678.
- Morgado JN, Lamonaca E, Santeramo FG, Caroprese M, Albenzio M, Ciliberti MG. 2023. Effects of management strategies on animal welfare and productivity under heat stress: A synthesis. *Frontiers in Veterinary Science*. 10:1145610.
- Mueller LF, Balieiro JCC, Ferrinho AM, Martins TDS, da Silva Corte RRP, de Amorim TR, Pereira ASC. 2019. Gender status effect on carcass and meat quality traits of feedlot Angusx Nellore cattle. *Animal Science Journal*. 90:1078-1089.
- Munilla ME, Vittone JS, Romera SA, Teira GA. 2022. Contribución del bienestar animal a la calidad de la carne vacuna. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*. 48(2):174-180.
- Nakamura K, Morrison F. 2008. A thermosensory pathway that controls body temperature. *Natural Neuroscience*. 11:62-71.
- Nunes do Prado I, Cortêz PRA, Rivaroli DC, Garcia OM, Alves de Souza K, Barbosa CC, Perotto D, Moletta JL. 2015. Carcass composition and cuts of bulls and steers fed with three concentrate levels in the diets. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*. 28:1309-1316. <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.15.0021>.
- Pacheco LJ, Neuman MNJ, Restle J, Luis MR, Veiga RPP, Rocha CHMF, Machado SAE, Fernandes SL, Alexandrino E. 2013. Carcass and meat characteristics of different cattle categories fed diets containing crude glycerin. *Semina: Ciências Agrárias*. 34:431-444.
- Plazas RAS, Ávila VD. 2011. Mecanismos fisiológicos de la termorregulación en animales de producción. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*. 4:88-94.
- Pogorzelska-Przybyłek P, Nogalski Z, Sobczuk-Szul M, Momot M. 2021. The effect of gender status on the growth performance, carcass, and meat quality traits of young crossbred Holstein-Friesianx Limousin cattle. *Animal Bioscience*. 34:914-921. <https://doi.org/10.5713/ajas.20.0085>
- Prado RM, Prado IN, Marques JA, Rotta PP, Visentainer JV, Silva RR, Souza NE. 2009. Meat quality of the Longissimus muscle of bulls and steers (½ Nellore

- vs ½ Simmental) finished in feedlot. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 18:221-230. <https://doi.org/10.22358/jafs/66386/2009>.
- Prior RL, Smith SB, Schanbacher BD, Mersmann HJ. 1983. Lipid metabolism in finishing bulls and steers implanted with oestradiol-17 β -dipropionate. *Animal Science*. 37:81-88.
- Purwin C, Wyźlic I, Pogorzelska-Przybyłek P, Nogalski, Z, Białobrzewski I. 2024. Influence of gender status and feeding intensity on the growth curves of body weight, dry matter intake and feed efficiency in crossbred beef cattle. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 33:101-110. <https://doi.org/10.22358/jafs/169512/2023>.
- Rashmol VR, Sejian V, Bagath M, Krishnan, Archana PR, Bhatta R. 2018. Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *Journal Animal Behavioral Biometeorology*. 6:62-71.
- Robertshaw D. 2006. Mechanisms for the control of respiratory evaporative heat loss in panting animals. *Journal of Applied Physiology*. 101:664-668.
- Romo-Valdez A, Pérez-Linares C, Figueroa-Saavedra F, Portillo-Loera J, Ríos-Rincón F. 2019. Respuesta conductual de bovinos productores de carne en finalización intensiva en clima desértico cálido. *Abanico Veterinario*. 9:e928.
- Romo-Valdez A, Pérez-Linares C, Ríos-Rincón F, Figueroa-Saavedra F, Barreras-Serrano A, Castro-Pérez I. 2022. Importance of living space in the productive response and welfare of beef cattle in feedlot. *Abanico Veterinario*. 11:e502. <https://doi.org/10.21929/abavet2021.42>.
- SAGARPA-SENASICA. 2014. Secretaría 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. México.
- Salvin HE, Lees AM, Café LM, Colditz IG, Lee C. 2020. Welfare of beef cattle in Australian feedlots: a review of the risks and measures. *Animal Production Science*. 60:1569-1590. <https://doi.org/10.1071/AN19621>.
- SAS. Statistical Analysis Software. 2004. Versión 9.2. SAS Institute Inc., Cary, NJ. USA.

- Scholtz M, McManus C, Leeuw K., Louvandini H, Seixas L, Melo C, Theunissen A, Naser F. 2013. The effect of global warming on beef production in developing countries of the southern hemisphere. *Natural Science*. 5:106-119. doi: [10.4236/ns.2013.51A017](https://doi.org/10.4236/ns.2013.51A017).
- Seebacher F. 2009. Responses to temperature variation: integration of thermoregulation and metabolism in vertebrates. *Journal Experimental Biology* 212:2885-2891.
- Sejian V, Bhatta R, Gaughan JB, Dunshea FR, Lacetera N. 2018. Review: Adaptation of animals to heat stress. *Animal*. 12:52, s431-s444. doi:10.1017/S1751731118001945.
- Shepard RW, Maloney SK. 2023. A review of thermal stress in cattle. *Australian Veterinary Journal*. 101:417-429. <https://doi.org/10.1111/avj.13275>.
- SIAP 2023. Capacidad instalada para sacrificio de especies pecuarias. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. México.
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*. 67:1-18.
- Spiller D, Franceschini G, Henry M, Cinardi G, Falcucci A, Wisser D, Petri M. 2021. An analysis of the effects of climate change on livestock – A case study in the Lao People’s Democratic Republic. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc7320en>.
- 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.
- Torrescano UGR, Sánchez EA, Vásquez PMG. 2010. Caracterización de canales y carne de bovinos de animales engordados en la zona centro de Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 1:157-168.
- Valadez-Noriega M, Méndez-Gómez-Humarán MC, Rayas-Amor AA, C.F. Sosa-Ferreyra CF, Galindo, F, Miranda-de la Lama GC. 2020. Effects of

- greenhouse roofs on thermal comfort, behaviour, health, and finishing performance of commercial Zebu steers in cold-arid environments. *Journal of Veterinary Behavior*. 35:34-61. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2019.10.012>.
- Van Niekerk BDH, Jacobs GA. 1985. Influence of pen area and trough space on feedlot performance of beef cattle. *South African Journal of Animal Science*. 15:164-166.
- Winders TM, Melton BA, Boyd BM, Macken CN, Watson Ak, MacDonald JC, Erickson GE. 2023. Impact of shade in beef feedyards on performance, ear temperature, and heat stress measures. *Journal of Animal Science*. 101:1-10. <https://doi.org/10.1093/jas/skad004>.
- Zazueta AC, Ríos FG, Castro BI, Estrada AA, Portillo JJ. 2022. Efecto medioambiental y del diseño del corral en comportamiento agonista de bovinos en finalización intensiva. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 25:024. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3723>
- Zazueta C, Castro I, Estrada-Angulo A, Portillo J, Urías D, Ríos F. 2021. Valoración del confort térmico de bovinos productores de carne en finalización intensiva en clima cálido. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 32(5): e19301. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v32i5.19301>