

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Instituto de Ciencias Agrícolas



**EFFECTO DEL TIPO DE SOMBRA Y GENOTIPO SOBRE LA
CAPACIDAD TERMO-REGULADORA DE GANADO
FINALIZADO EN CORRAL BAJO ESTRÉS CALÓRICO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
ANIMAL**

PRESENTA:

JOSÉ ANTONIO AGUILAR QUIÑONEZ

DIRECTOR DE TESIS:

Ph.D. LEONEL AVENDAÑO REYES

MEXICALI, B.C.

AGOSTO DE 2016

La presente tesis "EFECTO DEL TIPO DE SOMBRA Y GENOTIPO SOBRE LA CAPACIDAD TERMO-REGULADORA DE GANADO FINALIZADO EN CORRAL BAJO ESTRÉS CALÓRICO " fue realizada por C. José Antonio Aguilar Quiñonez y dirigida por Ph.D. Leonel Avendaño Reyes, ha sido evaluada y aprobada por el Consejo Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el título de:

Maestro en Ciencias en Sistemas de Producción Animal

Consejo particular



Ph. D. Leonel Avendaño Reyes

Director de tesis



Dr. Juan Eulogio Guerra Liera

Co-director



Dr. Ulises Macías Cruz

Secretario



Ph. D. Abelardo Correa Calderón

Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por darme el apoyo económico para realizar mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa por haberme permitido ser parte de ella y por haberme cobijado bajo sus aulas, durante toda mi formación como profesional.

A la Universidad Autónoma de Baja California y al Instituto de Ciencias Agrícolas, por abrir sus puertas, contribuir en mi formación académica y darme la oportunidad de pertenecer a su casa de estudios.

Al Ph. D. Leonel Avendaño Reyes por darme la oportunidad de trabajar con él, por brindarme su apoyo, amistad, conocimiento, consejos y enseñanzas, con un gran profesionalismo y entrega.

Al Dr. Juan Eulogio Guerra Liera por su amistad, apoyo incondicional, por confiar en mí y brindarme la oportunidad de seguir preparándome profesionalmente.

Al Dr. Ulises Macías Cruz por compartir sus conocimientos, enseñanzas y amistad, por sus comentarios, consejos y sugerencias.

Al Ph. D. Abelardo Correa Calderón por sus valiosos consejos, comentarios, enseñanzas en el aula y la gran motivación para seguir adelante.

Finalmente, un agradecimiento especial a todas aquellas personas que tuvieron que ver en mi formación, maestros, Sandrita, trabajadores, compañeros y amigos. Gracias por darme la oportunidad de conocerlos y de compartir con ustedes, buenos y malos momentos durante este periodo de formación.

DEDICATORIAS

A DIOS y nuestra Virgen María de Guadalupe, por permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida.

A mis padres Antonio Aguilar Huerta y María Librada Quiñonez Ayala les agradezco toda la confianza que ha depositado en mí, el apoyo en cumplir conmigo logros y tropiezos sin pedir nada a cambio. Por haberme dado la vida y estar siempre constante de cada paso.

A mis dos hermanos Jesús Ramón Aguilar Quiñonez y Juan Carlos Aguilar Quiñonez por qué juntos aprendimos a vivir, crecimos como cómplices amigos incondicionales día a día desde la niñez, compartiendo triunfos y fracasos, por su gran comprensión y respeto que nos tenemos mil gracias por ser parte de mi vida les amo.

A mi novia Jessica Reyes Millán por su amor, paciencia comprensión y apoyo incondicional, por aguantarme estos últimos 8 años con todo y mis locuras.

A mis familiares viejos amigos y a quienes recién se sumaron a mi vida para hacerme compañía con sus sonrisas de ánimo, con esos momentos inolvidables que se quedan para siempre en mis más bellos recuerdos, mil gracias...

ÍNDICE TEMÁTICO

INDICE

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE GRÁFICAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Ganado bovino de engorda en México.....	3
2.2. Estrés calórico en ganado de engorda en corral.....	4
2.3. Uso de la termografía en ganadería.....	7
2.4. Frecuencia respiratoria e índice de jadeo.....	10
2.5. Estrés calórico y consumo de alimento.....	12
2.6. Estrés calórico y temperatura corporal.....	14
2.7. Uso de sombras en corrales de engorda.....	17
3. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. Descripción del área y duración del estudio.....	20

3.2. Animales y corrales experimentales	20
3.3. Tratamientos	21
3.4. Registro de variables.....	22
3.4.1. Variables climáticas	22
3.4.2. <i>Variables productivas</i>	22
3.4.3. <i>Variables Fisiológicas</i>	23
3.4.3.1 Temperaturas de la superficie corporal	23
3.4.3.2 Frecuencia respiratoria	23
3.4.3.3 Temperatura interna (subcutánea)	24
3.5 Análisis estadístico.....	25
4. RESULTADOS.....	28
4.1 Datos climáticos	28
4.2 Frecuencia Respiratoria	32
4.3 Temperatura corporal (subcutánea)	32
4.4 Temperatura corporal externa	36
4.5 Comportamiento en corral	38
5. DISCUSIÓN	40
6. CONCLUSIONES	47
7. LITERATURA CITADA.....	48

LISTA DE CUADROS

1	Promedios de frecuencia respiratoria por tipo de sombra y genotipo en toros de engorda en corral por la mañana, tarde y general.....	32
2	Promedios de temperatura corporal (subcutánea), de toros de engorda por periodo del día	34
3	Promedios de temperaturas de distintas partes del cuerpo en ganado de engorda sujeto a cuatro tipos de sombra por la mañana y por la tarde.....	36
4	Promedios generales de temperaturas de distintas partes del cuerpo en ganado de engorda sujeto a cuatro tipos de sombra.....	37
5	Promedios de ganancia de peso total (GPT), ganancia diaria de peso (GDP), consumo de alimento (CON) y conversión alimenticia (CAL) del primer periodo por tratamiento durante el estudio.....	38

LISTA DE FIGURAS

- 1 Promedios por hora de temperatura ambiental (T_{prom}), humedad relativa (HR) e índice temperatura-humedad (ITH) durante el periodo experimental a la altura de la cabeza en los diferentes tratamientos: A) Domo con abanico (DCA), B) Domo sin abanico (DSA), C) Doble sombra (DS) y D) Testigo (T)..... 30
- 2 Promedios por hora de temperatura ambiental (T_{prom}), humedad relativa (HR) e índice temperatura-humedad (ITH) durante el periodo experimental en techo en los diferentes tratamientos: A) Domo con abanico (DCA), B) Domo sin abanico (DSA), D) Doble sombra (DS)..... 31

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del tipo de sombra en variables fisiológicas y desempeño productivo de toretes cebú y europeo en finalización durante estrés calórico moderado en una engorda comercial del noroeste de México. Un total de 804 toros *Bos taurus*, *Bos indicus* y sus cruas se asignaron aleatoriamente a 12 corrales experimentales (n=67 toros/corral), y en grupos de tres fueron asignados a uno de cuatro tratamientos: 1) Testigo (T), 201 toretes en 3 corrales con sombra de lámina utilizada en la engorda (1.3 m²/animal); 2) Doble sombra (DS), 201 toretes en 3 corrales con un poco más del doble de la sombra estándar de lámina utilizada en la engorda (2.6 m²/animal); 3) Domo sin abanico (DSA), 201 toretes en 3 corrales cubiertos con sombra de lona color blanco tipo domo (8.5 m²/animal); 4) Domo con abanico (DCA), 201 toretes en 3 corrales cubiertos con sombra de lona color blanco tipo domo (8.5 m²/animal) y con tres ventiladores por corral. El estudio se realizó en la época de otoño y duró 32 d, pesándose 2 veces los animales, al inicio y a 32 d. Se midió temperatura de la superficie corporal (TSC) en 10 animales por corral (5 Cebú y 5 Europeos) con una cámara termográfica en las siguientes regiones corporales: cabeza (TCAB), cuello (TCUE), lomo (TLO), paleta (TPAL), grupa (TGRU), vientre (TVIE) y ojo (TO), por la mañana (07:00 a 09:00) y tarde (13:00 a 15:00). Se midió frecuencia respiratoria en los mismos animales y tiempos. Se registró el consumo de alimento por corral en 5 d de cada semana. La temperatura corporal subcutánea (TCS) se obtuvo insertando un termógrafo en el cuello de 6 animales por corral. Se construyó el índice Temperatura-Humedad cuyo promedio fue 78 unidades. El grupo DCA tuvo mayor (P<0.05) ganancia diaria de peso, ganancia total, consumo

de alimento y conversión alimenticia que los grupos T y DS. En TSC, los grupos DCA y DSA obtuvieron menores valores ($P < 0.05$) por la mañana, tarde y promedio diario que los grupos T y DS. La FR de toros Cebú en DCA (56.8 rpm) fueron menores ($P < 0.05$) que toros Europeos. En DSA, DS y T, toros Cebú tuvieron menor ($P > 0.05$) FR que toros Europeos E (DSA: 56.8 vs 69.3; DS: 60.8 vs 63.8; T: 61.85 vs 67.90 rpm). La TCS fue menor ($P < 0.05$) en los periodos 18:00 a 24:00 y 02:00 a 07:00 h en DS y T; en periodo 08:00 a 13:00 h, DCA tuvo menor ($P < 0.05$) TCS que DSA, DS y T, mientras que de 14:00 a 17:00 h no se encontraron diferencias entre tratamientos. Los corrales con domos obtuvieron los mejores resultados en desempeño en corral. La TSC fue mejorada por los tratamientos DS y T, mientras que FR de animales Cebú fue menor que los Europeos en todos los tratamientos. La instalación de domos con abanicos como estrategia para mejorar la respuesta productiva y fisiológica en animales engordados en corral bajo estrés calórico tuvo mayor impacto en la mejora de variables fisiológicas y productivas bajo condiciones de estrés calórico moderado, sin embargo, es importante evaluar los costos de este equipo para su recomendación práctica.

Palabras clave: Bovinos de engorda, ganancia de peso, sombras, frecuencia respiratoria, temperatura corporal.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effect of shade type and cattle genotype on physiological and productive variables of finishing steers under moderate heat stress in a commercial feedlot. A total of 804 bulls (*Bos Taurus*, *Bos indicus* and its crosses) were randomly assigned to 12 experimental groups (n=65), which were randomized to four shade treatments (3 groups/treatment): 1) Control (T), pens with standard shade (1.3 m²/animal); 2) Double-shaded (DS), pens with more than the double of the shade in T (2.6 m²/animal); 3) Dome without fans (DSA), pens covered with shade type dome (8.5 m²/animal); and 4) Dome with fans (DCA), pens covered with shade type dome (8.5 m²/animal) and with three fans. The study was conducted during autumn season for 32 d. Animals were weighed twice during the study, at the beginning and 32 d later. Temperature of the body surface (TSC) was measured in 10 animals per pen (5 Zebu and 5 European) with a thermographic camera in the following body regions: head (TCAB), neck (TCUE), back loin (TLO), shoulder (TPAL), rump (TGRU), barrel (TVIE) and eye (TO), during the morning (07:00 a 09:00) and afternoon (13:00 - 15:00). Respiratory rate (RR) was measured in the same animals and times. Feed intake was measured 5 d of each week by pen. Subcutaneous body temperature (TCS) was obtained by inserting a thermograph in the neck to 6 animals per pen. The DCA group had higher (P<0.05) daily gain, total gain, feed intake and feed conversion than groups T and DS. In TSC, the DCA and DSA groups had lower values (P<0.05) in the morning, afternoon and daily average than T and DS groups. The FR of Zebu bulls in DCA (56.8 rpm) was lower (P<0.05) than European bulls. FR of bulls in DSA, DS

and T was lower ($P > 0.05$) than European bulls (DSA: 56.8 vs 69.3; DS: 60.8 vs 63.8; T: 61.85 vs 67.90 rpm). The TCS was lower ($P < 0.05$) in the periods 18:00 to 24:00 and 02:00 to 07:00 h in DS and T; in period 08:00 to 13:00, DCA was lower ($P < 0.05$) than DSA, DS and T, while from 14:00 to 17:00 h there were no differences. Pens with domes obtained the best results in feedlot performance. The TSC was improved by DS treatments and T, while FR of Cebu bulls was lower than the Europeans in all treatments. Installation of domes with fans as a strategy to improve the productive and physiological responses in feedlots bulls under heat stress had a positive impact; however, it is important to evaluate the cost of this equipment to make practical recommendations.

Keywords: feedlot Cattle, weight gain, shades, Respiratory frequency, body temperature.

1. INTRODUCCIÓN

El fenómeno meteorológico conocido como Cambio Climático está ejerciendo un impacto significativo en los sistemas de producción animal, ya que la temperatura ambiental exhibe una tendencia de crecimiento anual que tiene y seguirá teniendo repercusiones negativas en el sector agropecuario. En México, las zonas engordadoras de ganado bovino se encuentran localizadas principalmente en zonas áridas y semiáridas del norte del país, que se distinguen por presentar climas con temperatura y/o humedad relativa alta en verano, lo que causa en el animal la condición adversa conocida como estrés calórico (Avendaño et al., 2011). Esta condición ocurre cuando existen cargas excesivas de calor en los animales debido a la combinación de condiciones climáticas ambientales de temperatura y humedad, junto con baja velocidad del viento y elevada radiación solar. Esta situación afecta directamente el rendimiento y bienestar animal y se intensifica bajo sistemas de producción en confinamiento (Mitlöhner et al., 2002).

La respuesta de los bovinos al estrés calórico es muy variable debido a la presencia de factores como condición corporal, salud, dieta, edad, genotipo y color del pelaje. Además, el proceso de sudoración en bovinos no es tan efectivo como en otras especies, por lo que tienen mayor dificultad para disipar las cargas de calor de su organismo, activando distintos procesos fisiológicos como aumento en frecuencia respiratoria y temperatura corporal, cambios en conducta, reducción del flujo sanguíneo hacia la parte interna del cuerpo, modificaciones en la síntesis y secreción hormonal y disminución de la función inmune (Sullivan et al., 2011). Sin embargo, el efecto de mayor importancia del calor en bovinos es la disminución

del consumo de alimento, afectando su metabolismo y eficiencia alimenticia, causando bajo desempeño productivo. Normalmente, el ganado recibe, durante su etapa de finalización, dietas con alto contenido energético, así como aditivos alimenticios que aceleran su metabolismo; sin embargo, bovinos engordados intensivamente durante verano muestran menor ganancia de peso, conversión y eficiencia alimenticia que en épocas frescas (Hahn, 1999; Mitlöhner et al., 2002).

El uso de estrategias contra los efectos negativos del estrés calórico en ganado de engorda en corral tiene como objetivo reducir la carga calórica que recibe el animal, mejorando su consumo de alimento y productividad. Una estrategia es el uso de sombras en los corrales, considerando su instalación como una práctica de manejo básica en explotaciones ubicadas en zonas con altas temperaturas. Su función es bloquear la radiación solar porque es fuente importante de ganancia de calor durante el día, reduciendo la temperatura del animal y del suelo, facilitando un alivio inmediato y evitando cargas calóricas intensas en los animales (Gaughan et al., 2010). Los materiales naturales (hojas de palma o plantas de la región) no implican demasiada inversión; no obstante, el uso de aspersores y/o ventilación forzada resultan efectivos para contrarrestar los efectos del calor, pero su uso implica una inversión considerable. Un estudio realizado en el valle de Mexicali, B.C. (Correa-Calderón et al., 2004) concluyó que el uso de enfriamiento en novillos Holstein mejoró su bienestar, pero la productividad no justificó la inversión. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la eficacia de cuatro diferentes tipos de sombra en la productividad y capacidad termorreguladora de bovinos cebú y europeo en corral.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Ganado bovino de engorda en México

La ganadería en México tiene gran importancia socioeconómica en el país, ya que junto al resto del sector primario sustenta en gran medida el progreso nacional, generando alimentos como materia prima, empleos e ingresos en distintos sectores (SAGARPA, 20014a). Existe ganado de tipo lechero, cárnico y doble propósito que está destinado a la producción de carne y de leche, donde las explotaciones suelen ser de tres tipos: extensivo, semi-extensivo e intensivo (CONARGEN, 2013). Las principales explotaciones estabuladas en México para la producción de carne se ubican en distintas regiones agroecológicas donde las altas temperaturas y/o humedad relativa son comunes en verano (Financiera Rural, 2012). En los últimos años, la producción de carne de bovino ha representado alrededor de 35% de la producción nacional en corrales de engorda. En 2014, el número de cabezas de ganado de carne fue de 30´ 508, 948, donde la contribución de las principales entidades federativas fueron Veracruz (13.41%), Jalisco (8.90%), Chiapas (8.59%), Chihuahua (5.60%), Oaxaca (5.41%) y Sinaloa (5.6%), que en conjunto aportaron el 47.51% del total nacional (SAGARPA-SIAP, 20014b).

En los distintos estados de México existen razas de ganado bovino productor de carne que se clasifican por su genotipo en Cebú o Europeo, de acuerdo al clima que se presente en la región (Montalvo *et al.*, 2012). Entre las diferentes razas Europeas se encuentran Hereford, Charolais, Pardo Suizo Europeo, Beefmaster, Simmental, Limousin, Brangus y Angus, mientras que en las

razas cebuínas se cuenta con Nelore, Brahman, Gyr, Indobrasil y Guzerath (Financiera Rural, 2012). La ganadería para carne comprende primordialmente la producción de novillos para suministro a las engordas y la cría de becerros para exportación y producción de pie de cría, siendo los sistemas básicos de producción el intensivo o engorda en corral, y el extensivo o engorda en praderas (Gamboa *et al.*, 2005).

2.2 Estrés calórico en ganado de engorda en corral

El calentamiento global producto del cambio climático compromete los sistemas de producción agropecuaria debido a la tendencia de la temperatura ambiente a incrementarse anualmente. Se ha informado que durante el último siglo ha habido un aumento promedio de 0.74°C en la temperatura ambiental a nivel mundial (IPCC, 2007). Adicionalmente, se predice que el aumento en las temperaturas seguirá en constante incremento, lo que proyecta mayores temperaturas en el ambiente, afectando a las explotaciones ganaderas que se localizan en zonas áridas o semiáridas, lo que se traduce en malestar para el ganado porque afecta de manera considerable su zona de confort. Por tanto, las condiciones ambientales afectan el intercambio de calor entre el animal y el medio ambiente causando estrés calórico (EC; Mader *et al.*, 2010); esta condición ocurre cuando la temperatura corporal del animal supera el límite superior de la zona termo neutral, teniendo que imponer ajustes conductuales, fisiológicos y metabólicos para reducir la tensión derivada de esta condición fisiológica (Silanikove, 2000; Mader, 2002a). La zona termo neutral varía de acuerdo al genotipo del bovino, siendo en *Bos taurus* de 25°C (Navas, 2010; Cony *et al.*,

2004) y de 27°C en *Bos indicus* (Navas, 2010), por lo que éste último es más resistente a las altas temperaturas.

Entre los factores ambientales que incluye el estrés calórico se tienen: temperatura ambiente, velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar directa o indirecta. Ya que los animales por considerarse como homeotermos pueden utilizar a su favor cada uno de estos factores, no obstante, también puede perjudicarles aumentando su temperatura. Cabe destacar que para que los animales mantengan una temperatura dentro de rangos constantes se requiere de un ambiente de confort térmico, es decir que los animales no requieran realizar esfuerzo de ningún tipo para mantener su temperatura normal. Si la temperatura sobrepasa los valores críticos (superiores e inferiores) puede ocurrir estrés por calor o por frío (Mader et al., 2006; Bohmanova et al., 2007). De tal manera que durante el EC se manifiestan diversas respuestas fisiológicas y endocrinas para mejorar la capacidad del animal, activando mecanismos para disipar la carga excesiva de calor. En este sentido, el flujo de calor se lleva a cabo mediante procesos dependientes de la temperatura y humedad del entorno, los cuales pueden ser no evaporativos (pérdida de calor sensible) por conducción, convección y radiación, y evaporativos (pérdida de calor latente) mediante la disipación del calor en forma de agua exudada por sudoración, jadeo, y saliva (Beatty et al., 2006; Collier et al., 2006).

Otros factores importantes causantes del EC son propios del animal, prácticas de manejo y nutricionales. En el animal, la respuesta al EC depende del estado fisiológico, grupo genético, edad, conducta, adaptación al ambiente, color

de pelaje, peso y cantidad de grasa subcutánea (Mader y Davis, 2004; Nienaber y Hahn, 2007). Los factores debidos a prácticas de manejo son el personal no capacitado, cuidado de animales, insumos disponibles e instalaciones adecuadas (Mader et al., 2002b; Arias y Mader, 2011). Los factores nutricionales en las explotaciones ganaderas son importantes debido a que los animales engordados intensivamente se alimentan a base de dietas altas en energía, principalmente en etapa de finalización, con la finalidad de que ésta sea destinada al crecimiento, producción, manutención y actividad física para los animales, cuando se encuentra bajo condiciones de temperatura termoneutral; sin embargo, bajo temperaturas que sobrepasen la zona termoneutral, la energía es reorientada para mantener un estado homeotérmico en donde los requerimientos de energía aumentan, debido a la utilización de procesos fisiológicos (Collin *et al.*, 2001). En periodos de calor, el bovino manifiesta cambios en sus requerimientos nutricionales, cambios fisiológicos y de comportamiento, afectando negativamente el desempeño productivo, de manera que existe una considerable disminución del consumo de materia seca (CMS), y un aumento en el consumo de agua, ambos mecanismos termorreguladores para disminuir la producción de calor interno, lo cual causa un gasto adicional de energía para mantener un punto de equilibrio térmico (Mader et al., 2006).

Este impacto negativo representa pérdidas económicas debido a los costos de producción que ha generado un animal desde su ingreso a la industria y, en mayor grado, los más susceptibles a altas temperaturas por su condición corporal y nivel de producción, aspectos comúnmente reportados en bovinos afectados por

la incidencia del calor (Bernabucci *et al.*, 2010). Por lo tanto, las pérdidas económicas que se atribuyen al efecto del EC son muy variadas e incluyen: a) poco o ningún efecto: cuando la exposición al calor es muy breve y se muestran pocas respuestas fisiológicas y de comportamiento para reducir la tensión, aumento en FR y en TC, b) pérdidas en la productividad: disminución del CMS, GDP y CA), c) pérdidas en calidad: mayor incidencia de carne oscura, y d) pérdidas por muerte: durante eventos de extremo calor prolongado se originan pérdidas económicas de millones de dólares en ingresos para la industria ganadera por la mortandad del ganado, estimándose que la pérdida por animal que muere bajo condiciones de EC en EEUU es de \$5,000 dólares (St-Pierre *et al.*, 2003; Gaughan *et al.*, 2010).

El EC también afecta la conducta del ganado modificándola para evitar la radiación solar directa y disminuir la carga calórica; en este sentido es posible observar una reducción en tiempo dedicado a la ingesta de alimento y el tiempo en que permanecen echados, aumento en consumo de agua, permanencia durante más tiempo en el bebedero, mayor permanencia de pie, distribución de animales en corral, así como búsqueda de sombra y lugares con mayor ventilación (Mittlöhner *et al.*, 2001). Por tanto, instalaciones adecuadas que permitan la ventilación durante el verano ayudan a mejorar el bienestar de los animales en esta época del año.

2.3 Uso de la termografía en ganadería

La termografía infrarroja (TIR) es una herramienta tecnológica moderna y de reciente utilización en la industria ganadera. Se considera una técnica no

invasiva que permite calcular y determinar variación en temperatura de la superficie del cuerpo de los animales (Stewart et al., 2007). Esta técnica opera empleando una cámara termográfica que detecta la energía infrarroja de la superficie emitida por objetos u organismos y utiliza estos datos para obtener, en forma de imagen, un valor estimado de la temperatura (termogramas) mediante un software especializado de alto rendimiento con características para analizar a detalle las imágenes y organizar los datos bajo un análisis de calidad (Knížková et al., 2007). En este sentido, las imágenes termales captadas de los animales permiten explorar los valores obtenidos de temperaturas promedios de diferentes puntos o áreas de la superficie corporal.

El uso de esta tecnología resulta ser un procedimiento fácil, consistente, rápido y con cierto grado de precisión cuando se tienen los cuidados pertinentes (Luciane et al., 2010). Algunos autores indican las siguientes ventajas por utilizar esta tecnología: a) captura de imagen a distancia, b) método no invasivo, c) bajo riesgo de propagar enfermedades infecciosas, d) no requiere manipulación ni sujeción de animales, por lo que no altera su conducta, y e) permite evaluar bienestar de los animales en forma precisa (Schaefer et al., 2004; Stewart et al., 2005; Silva et al., 2016). Sin embargo, existen diferentes factores físicos y/o ambientales que deben considerarse con el uso de esta técnica debido a que interfieren con la radiación infrarroja emitida por la cámara, tales como: temperatura ambiente, viento, luz solar y lluvia como factores ambientales; y como factores físicos: partes del cuerpo cubiertas por lodo, polvo, agua o heces fecales (Church et al., 2014).

En la industria ganadera, la TIR tiene aplicaciones para distintos propósitos como determinación de la eficiencia alimenticia, detección temprana de fiebre y/o enfermedades respiratorias, evaluación de mastitis, lecciones e inflamaciones, evaluación de calor corporal y de la calidad de la carne, así como analizar algunos aspectos reproductivos (Berry et al., 2003; Montanholi et al., 2009; Schaefer et al., 2012;). Oliveira-Menegassi (2016) utilizó la termografía infrarroja en toros Brangus con Nelore para determinar la temperatura de los polos extremos proximal y distal de los testículos, así como el gradiente de la temperatura testicular para evaluar los efectos de variables climáticas en la reproducción. En otro estudio, la TIR se usó para evaluar el estro y el punto de ovulación en vacas, encontrando que esta técnica puede ser utilizada como una herramienta útil para la detección del celo (Talukder et al., 2014). Adicionalmente, esta tecnología ha permitido evaluar con mayor precisión áreas corporales que son empleadas por los animales para la pérdida de calor corporal una vez que llevan a cabo la redistribución del flujo sanguíneo como mecanismo de disipación de calor hacia la periferia (Cardoso et al., 2015).

Dado que la temperatura corporal del animal tiene un potencial importante como indicativo de enfermedades y del estado fisiológico, uno de los beneficios por el uso de esta tecnología es poder evaluar con mayor precisión la fisiología del estrés en animales de producción, dado que algunos estudios sugieren que existe una relación entre la temperatura corporal interna y la temperatura de diferentes regiones anatómicas del cuerpo, tales como superficie de pelo y piel, ojo y morro (Church et al., 2014). En ovejas se ha encontrado que la temperatura del ojo y la

vaginal están altamente correlacionadas con la temperatura rectal; resultados similares indican que existe una correlación positiva y significativa entre la temperatura promedio del ojo y la temperatura rectal en ganado bovino (George et al., 2014).

2.4 Frecuencia respiratoria e índice de jadeo

Uno de los mecanismos fisiológicos evaporativos del ganado para disipar el calor es a través de la respiración. La respiración es un proceso vital en los bovinos en el que absorbe oxígeno del aire y expulsa dióxido de carbono para su sobrevivencia. Los ciclos respiratorios están dados por las fases inspiración y expiración; durante la fase inspiratoria, existe una expansión torácica y pulmonar por la entrada de aire, mientras que la fase espiratoria se produce con la exhalación del aire. No obstante, existen variaciones relacionadas con la frecuencia respiratoria durante los ciclos respiratorios, cuando el animal se expone a altas temperaturas o agitación se producen desviaciones en la frecuencia respiratoria, respiraciones rápidas y superficiales como también respiraciones lentas pero profundas, en función de llevar a cabo el proceso de intercambio gaseoso entre el animal y el ambiente. Adicionalmente, el tracto respiratorio funciona como termorregulador, estos es, cuando la temperatura ambiente es superior a la del animal, la pérdida de calor se produce por evaporación de agua a través de las vías respiratorias (Cain et al., 2006). Por tanto, la conducta del animal es alterada, ocasionando un aumento en el volumen y frecuencia respiratoria para maximizar el movimiento del aire a través del tracto respiratorio.

Bajo este contexto, la frecuencia respiratoria (FR) ha servido como un indicador del EC en ganado bovino y se mide por ciclos completos de inhalación y exhalación, expresándose mediante el conteo en tiempos respiratorios por expansión torácico abdominal (Mader et al., 2006). En condiciones termoneutrales, el animal presenta una FR entre 20 y 60 respiraciones por minuto (rpm), sin embargo, durante enfermedades, alteraciones ambientales y/o actividad física, ésta sufre un aumento considerable. Debido a la variación presentada ante diferentes condiciones, la FR bajo estrés calórico moderado varía de 80 a 120 rpm, mientras que por encima de las 120 rpm se estima que el animal se encuentra bajo una carga de calor bastante considerable. Por tanto, la FR se ha utilizado como uno de los principales mecanismos a considerar al momento de evaluar el estrés del animal ante períodos de cargas de calor (Brown-Brandl et al., 2005; Mader et al., 2006). En este sentido, el aumento en FR funciona como mecanismo termorregulador importante en el animal, aumentando la pérdida de calor por vías respiratorias, lo cual se convierte en una de las vías de más importancia para mantener el balance térmico cuando se requiere disipar la carga de calor obtenida en horas con mayor temperatura (Hahn, 1999). Sin embargo, en condiciones de temperaturas extremas, este mecanismo no resulta ser muy eficiente para refrescar al animal, existiendo la posibilidad de que el esfuerzo realizado por el jadeo ocasione un aumento en la producción de calor por el mismo animal, por ende, las respiraciones se vuelven más lentas y profundas (Silanikobe, 2000; Collier et al., 2006). No obstante, un aumento constante en la frecuencia respiratoria puede ser perjudicial para los animales debido a que existe una alteración en la ventilación alveolar (hiperventilación), incrementando la

pérdida de CO₂, incremento del pH sanguíneo e induciendo una alcalosis respiratoria (Cain et al., 2006). Adicionalmente, el jadeo es un proceso que requiere actividad muscular, lo que causa un gasto de energía extra que incrementa la demanda en los requerimientos de mantenimiento, aproximadamente en 7% (NRC, 1981).

Un método alternativo a la FR es el Índice de Jadeo (IJ), en el cual se evalúa la dinámica respiratoria en una escala de valores de 0 a 4, donde:

0 = respiración normal o sin jadeo,

1 = jadeo leve o respiración elevada,

2 = jadeo moderado y/o presencia de baba o pequeña cantidad de saliva,

3 = jadeo pesado con la boca abierta; saliva usualmente presente, y

4 = jadeo intenso con boca abierta acompañado por protrusión de la lengua y salivación excesiva, por lo general con el cuello extendido hacia adelante (Mader et al., 2006; Gaughan et al., 2010).

2.5 Estrés calórico y consumo de alimento

La disposición que posee el ganado productor de carne para hacer uso de los mecanismos fisiológicos durante periodos en que las condiciones climáticas son adversas, sobre todo en sistemas de producción intensivos y en etapa de finalización, debido a las prácticas de manejo que se emplean. Las principales fuentes de calor en el ganado de engorda provienen del ambiente y de su metabolismo, esto último debido al consumo de dietas con alta densidad

energética (Hahn, 1999; Nienaber et al., 2003). Estas condiciones permiten que el animal regule sus perfiles hormonales y el consumo de alimento como mecanismos para mantener la homeostasis, sin embargo, estos ajustes provocan una alteración en la actividad de la glándula tiroides como resultado de una estrategia termorreguladora que actúa de manera secuencial a través de sensores térmicos entre el eje hipotálamo – hipófisis – tiroides (Silanikove, 2000). Además, al aumentar la temperatura corporal se activan factores que inhiben la tirosina en la hipófisis anterior, reduciendo considerablemente la hormona estimuladora de la tiroides (TSH), la cual promueve la secreción de las hormonas tiroideas (tiroxina T4 y triyodotironina T3), que poseen funciones importantes como adaptación al medio ambiente y regulación del metabolismo, de modo que la disminución en sus concentraciones por las altas temperaturas pueden producir problemas de hipertiroidismo y pérdida del apetito, afectando negativamente el bienestar, y por ende la productividad de los animales (Beede y Collier, 1986; Silanikove, 2000). No obstante, es conocido que uno de los efectos negativos de mayor importancia cuando existe una disminución en las concentraciones de estas hormonas es la reducción de la motilidad del tracto digestivo, lo que se refleja en una menor tasa de pasaje y, por consecuencia, una baja considerable en el consumo de alimento, todo con el objetivo de reducir al mínimo el calor endógeno generado en el proceso de digestión (Mader et al., 2006; Correa-Calderón et al., 2007). Por otra parte, la ingestión de los alimentos por los animales es de gran importancia para cubrir los requerimientos de energía necesaria para cumplir con funciones vitales como trabajo mecánico, químico, y síntesis de componentes orgánicos como enzimas y hormonas. Sin embargo, ante la incidencia de altas temperaturas,

existen cambios en los patrones alimenticios. Se ha documentado que existe un aumento en el consumo de agua y una disminución en el consumo de materia seca, lo que afecta de manera significativa la productividad de los animales, generando pérdidas económicas considerables en la industria ganadera (Mader et al., 2006; Arias et al., 2008). En base a lo anterior, la industria ganadera ha hecho uso de estrategias que le permite contrarrestar los efectos del estrés en los animales, tales como: a) modificaciones genéticas, b) utilización de sombras, c) sistemas de enfriamiento, d) modificaciones en la dieta, y c) suministro de alimento en horas más frescas (Mitlöhner et al., 2001; Gaughan et al., 2010; Sullivan et al., 2011, Avendaño et al., 2011). Adicionalmente se ha demostrado que la utilización de sombras en ganado de engorda aumenta el consumo de alimento, la CA, GDP y reduce la mortalidad en el ganado. Correa-Calderón et al. (2007) reportaron mayores ganancias de peso y niveles de concentraciones de T3 en ganado de engorda sujeto a un sistema de enfriamiento, lo que se traduce en un mayor confort y eficiencia productiva en verano. Por otra parte, Avendaño et al. (2011) reportaron que una alternativa para mejorar la respuesta productiva en ganado de carne durante el verano es proveer el alimento en horas más frescas del día, esto es, suministrando parte de la dieta durante la noche combinándolo con iluminación nocturna.

2.6 Estrés calórico y temperatura corporal

En respuesta al EC, los bovinos presentan diversos cambios fisiológicos, siendo uno de ellos el aumento considerable de la temperatura corporal en función de la carga calórica. El bovino, como mamífero, es un organismo homeotermo que

mantiene su temperatura interna de manera independiente a temperaturas ambientales. Para regular la temperatura y contrarrestar los efectos de la temperatura ambiente, existen diferentes receptores localizados en el sistema nervioso central, piel y algunos órganos, los cuales transmiten información al cerebro activando mecanismos de aumento o disminución en la producción y pérdida de calor (Thompson, 1973). En el núcleo preóptico del hipotálamo se encuentran neuronas sensibles a altas temperaturas que regulan diferentes mecanismos fisiológicos para la pérdida de calor, tales como vasodilatación periférica y evaporación de líquidos corporales (Cunningham, 2014). No obstante, existen respuestas hormonales ante la presencia de estrés calórico que se encuentran asociadas con una alteración de movimientos de agua y electrolitos corporales debido a la pérdida de agua que existe por medios evaporativos. Hormonas de la glándula adrenal (corteza y médula), controlan algunos eventos fisiológicos para mantener la homeostasis, tal es el caso de la aldosterona, mineral-corticoides producido en la corteza adrenal cuya función es la regulación del equilibrio electrolítico (volumen y concentración), incrementando la reabsorción de Na, agua y excreción de K (Silanikove, 2000). La vasopresina, hormona producida en la medula adrenal, provoca retención e incremento en el consumo de agua de los animales, en función a las pérdidas que se tienen por sudoración y jadeo. Un aumento en el nivel de vasopresina se relaciona con la disminución de la concentración de aldosterona cuando el ganado bovino se encuentra bajo condiciones de estrés calórico, ya que los medios evaporativos son la mayor ruta para disipar calor cuando la temperatura ambiente alcanza la temperatura corporal (Bernabucci et al., 2010).

Sin embargo, factores físicos como grosor de la piel, número de glándulas sudoríparas, color del pelaje y abundancia del mismo son determinantes para el proceso de disipación de calor debido a que existe relación con la función de los mecanismos termorreguladores (Beatty et al., 2006). Las características físicas reflejan la forma que un animal reacciona al estrés, por lo que estos factores son diferentes entre razas cebuinas y europeas. Las razas cebú, a diferencia de las europeas, son capaces de regular su temperatura corporal en respuesta a la incidencia de altas temperaturas debido a una menor resistencia en el flujo de calor por el tejido desde el centro del cuerpo hacia la piel, mayor tamaño de las glándulas sudoríparas, mayor pérdida de calor por medios de convección conducción y una menor absorción de radiación solar por a las propiedades que existen en la capa del pelo que poseen (Hansen, 2004).

Los factores ambientales como altas temperaturas y altos índices de humedad relativa en climas calurosos presentan un problema para la pérdida de calor en los animales, lo que reduce la capacidad de disipación de calor a través del aparato respiratorio y la piel, sobre todo cuando la humedad relativa es elevada y el aire comienza a saturarse de agua, lo que provoca un aumento considerable en la temperatura corporal (Arias et al., 2008).

La temperatura corporal subcutánea en ganado bovino ha sido utilizada como sistema de monitoreo para detectar temperaturas anormales en los animales. Esta técnica, a diferencia de la termometría rectal, permite obtener valores de temperatura sin alterar de manera constante la conducta del animal. Sin embargo, este parámetro está condicionado en función del flujo sanguíneo que se presente por las altas temperaturas y/o enfermedades en el animal;

adicionalmente se tiene que un aumento en el flujo sanguíneo por vasodilatación periférica hacia la piel aumenta la temperatura cutánea (Cunningham, 2014). Tradicionalmente en ganado bovino, la técnica más usada para determinar la temperatura fisiológica, fiebre, hipertermia o hipotermia es mediante la utilización de termómetros (Ávila, 2008). No obstante, la temperatura corporal subcutánea puede ser utilizada de manera eficiente para detectar fiebre u otros eventos que produzcan calor, sin embargo, es importante considerar que los valores de temperatura obtenidos por esta técnica pueden variar debido a factores climáticos o posicionamiento del termo-sensor (Lee et al., 2015).

2.7 Uso de sombras en corrales de engorda

Proveer instalaciones adecuadas para el ganado bovino en sistemas de estabulación es un tema de gran importancia en la ganadería, ya que el bienestar del animal bajo este tipo de explotaciones es afectado por diferentes tipos de manejo y clima al que se encuentran expuestos. Esto se agrava cuando las explotaciones se localizan en climas cálidos y los animales se encuentran sujetos a altas temperaturas, radiación solar y humedad relativa, lo que afecta de manera significativa el organismo del animal y altera su conducta, requerimientos nutricionales y el crecimiento (Sullivan et al., 2011).

Una de las estrategias para contrarrestar los efectos de las altas temperaturas y/o radiación solar en los animales es el uso de sombras, que se considera una práctica de manejo básica en explotaciones en regiones con climas cálidos, lo que se convierte en uno de los medios más eficientes utilizados en los corrales de engorda porque proporciona un alivio inmediato a los efectos de la

radiación solar (Beatty *et al.*, 2006; Gaughan *et al.*, 2010). El uso de la sombra puede reducir de 30 a 50% la energía radiante proveniente del sol que reciben los animales, además, reducen la temperatura del suelo de los corrales, lo que disminuye considerablemente la carga calórica (Collier *et al.*, 2006).

Proveer este tipo de manejo contra el estrés calórico es de las opciones menos costosas, ya que algunos materiales no requieren de gran inversión, como hojas de palma, plantas de la región, láminas de hierro galvanizado o malla sombra. Adicionalmente, existen otros tipos de instalaciones que se pueden adicionar a la sombra para mejorar los sistemas productivos, sin embargo estos implementos requieren inversiones considerables, como el uso de sombras en combinación con aspersores y/o ventilación forzada (Correa- Calderón *et al.*, 2004).

Sullivan *et al.* (2011) reportaron que proveer acceso a sombra en animales engordados en corral mejoró el bienestar y el rendimiento de los animales; el área de sombra ofrecida en los corrales fue 0, 2.0, 3.3 y 4.7 m²/animal mediante malla-sombra con 70% de bloqueo solar. Sin embargo, variables fisiológicas como índice de jadeo, y variables de comportamiento y de conducta, especialmente durante olas de calor, la provisión de sombra de 2.0 m²/animal no produjo las mismas mejoras como en las densidades de 3.3 y 4.7 m²/animal. No obstante, las estrategias de enfriamiento deben ser acompañadas de otras, como la manipulación en la dieta, suministro de agua y buen mantenimiento de los corrales (Hahn, 1999; Gaughan *et al.*, 2009). Se sabe poco acerca del requerimiento de área óptimo en la que los animales puedan cumplir sus funciones productivas con

el mínimo de ajustes fisiológicos ante eventos de EC, sin embargo, aunque el hecho de proporcionar sombra reduzca la intensidad de la carga calórica en los animales, es importante considerar que la sombra no elimina por completo los efectos de las altas temperaturas ni del EC. En algunos estudios se ha encontrado que proporcionar sombra en los corrales aumenta el confort de los animales y por ende, reduce significativamente la FR. Mitlohener *et al.* (2002) encontraron que proporcionar 2.12 m²/animal disminuyó la FR en 45% en comparación con animales que no tuvieron sombra bajo una temperatura promedio de 23°C. Sin embargo, existen otros factores que deben considerarse al momento de evaluar la FR. En un estudio realizado por Brown-Brandl *et al.* (2006), se observó que tanto el color de la piel, el pelaje, la condición corporal y la raza en ganado bovino engordado en corral difieren en la respuesta al EC; los autores concluyeron que razas de colores oscuros tuvieron mayor FR que razas de colores claros.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del área y duración del estudio

El experimento se llevó a cabo durante la época de otoño, del 5 de octubre al 15 de diciembre de 2014 en las instalaciones de una engorda intensiva comercial de bovinos, ubicada en la Carretera Culiacán-Vitaruto Km.14.5, en la sindicatura de Culiacancito, estado de Sinaloa, México. Su localización geográfica es 24° 49' de latitud Norte y 107° 32' de longitud Oeste, a 33 m sobre el nivel medio del mar. La zona posee temperatura y precipitación medias anuales de 24.8 °C y 689 mm, respectivamente. De acuerdo a la clasificación de Koppen modificado por García (1985), el tipo de clima es BS, (h')w(w)(e), descrito como clima semiseco, muy cálido, extremoso con lluvias en verano, presencia de lluvias invernales y precipitación pluvial promedio de 670 mm. La zona tiene una temperatura media anual de 24°C, presentándose la máxima (41°C) y la mínima (5°C) en verano e invierno, respectivamente. El estudio tuvo una duración de 70 d, dividido en dos periodos, 32 en el primero y 38 d en el segundo periodo. Para el presente estudio se considera solo el primer periodo (32 d), dado que en el segundo periodo no se presentaron condiciones de estrés calórico.

3.2 Animales y corrales experimentales

Se utilizaron toretes en etapa de finalización de la engorda, con peso inicial promedio de 432.05 ± 28 kg. Se asignaron aleatoriamente 67 animales por corral, siendo cada tratamiento formado por 3 corrales, totalizando 201 animales por tratamiento; el total de animales en la prueba fue 804 y de corrales 12. No obstante predominaron animales de razas europeas (Angus, Charoláis, Suizo Europeo, cruza de Jersey), hubo también animales raza Cebú y cruza de Cebú con razas europeas en distintos porcentajes. La dimensión de los corrales fue 15 x

40 m, orientados norte-sur y cada uno con sus respectivos comederos tipo canoa, disponibles en cada corral linealmente del lado Este, por el pasillo. Además, contaron con un bebedero automático por corral.

3.3 Tratamientos

Como tratamientos se consideraron los genotipos cebú y europeo, así como cuatro tipos distintos de sombra que fueron:

1) Domo con abanicos (DCA), consistió en una sombra tipo domo de 15 x 40 m, altura de 6.9 m en la parte central y área de 8.5 m² de sombra por animal. Además, cada uno de estos tres corrales contaron con tres abanicos industriales de 6 m de diámetro marca Bigvento Modelo BV06XA1508 (Megaventilación, S.A. de C.V., Guadalajara, Jalisco, México), con 8 aspas y motor de 1.5 HP, desplazamiento de aire de 212, 688 CFM y área de cobertura de 1365 m².

2) Domo sin abanico (DSA), consistió en una sombra tipo domo de 15 x 40 m, altura de 6.9 m en la parte central y área de 8.5 m² de sombra por animal. En la parte central y más alta del domo contó con una estructura tipo campana para promover la circulación del aire.

3) Doble sombra (DS), consistió en corrales con sombra en forma rectangular de lámina galvanizada ubicada en el centro del corral, orientada este-oeste y de 15 x 11.6 m, altura de 3.5 m, lo que resultó en una área de 2.6 m² por animal.

4) Testigo (T), consistió en una sombra de lámina galvanizada en forma rectangular ubicada en el centro del corral, orientada este-oeste, con dimensión de 15 x 5.8 m y altura de 3.5 m, resultando en cobertura de 1.3 m² por animal.

Los abanicos en DCA operaron 6 h/d, de 10:00 a 16:00 h en forma manual. Los domos con abanicos no tuvieron salida de aire en el techo como los DSA, pero el aire desplazado por los abanicos era expulsado por los extremos de los corrales.

3.4 Registro de variables

Se colectaron variables climáticas, productivas y fisiológicas. Dentro de las productivas se incluyeron peso inicial y final, así como consumo de alimento por corral; con ello se estimó la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia. Las climáticas contuvieron la temperatura ambiental, humedad relativa e índice temperatura-humedad. Dentro de las fisiológicas la frecuencia respiratoria, temperatura interna (subcutánea) y temperaturas corporales superficiales.

3.4.1 Variables climáticas

Las variables climáticas temperatura ambiente (máxima, mínima y promedio) y humedad relativa (máxima, mínima y promedio) diaria se obtuvieron utilizando higrómetrografos (Thermotracker, Culiacán, Sinaloa, México), los cuales fueron colocados en tres diferentes sitios por tratamiento: techo, altura a la cabeza, y suelo. La temperatura y humedad se registraban en intervalos de una hora diariamente y los datos fueron capturados con el software Thermotracker Pro 2.0. Con esa información se estimó el Índice Temperatura-Humedad (ITH) utilizando la fórmula propuesta por Hahn (1999):

$$ITH = 0.81 * Temp + HR / 100 * (Temp - 14.40) + 46.4$$

Donde:

ITH = es el Índice Temperatura-Humedad,

T = es la Temperatura ambiental

HR = es la Humedad relativa

3.4.2 Variables productivas

Los animales se encontraban en la fase final de su engorda y se pesaron individualmente al inicio del experimento en tres días, del 6 al 8 de octubre, pesando cada día 4 corrales, uno de cada tratamiento hasta cumplir con los 12 corrales. El peso promedio y su desviación estándar al iniciar el estudio fueron 432.05 ± 28 kg. El segundo pesaje se realizó a los 32 d de la prueba, siendo éste el primer periodo (8, 9 y 10 de Noviembre). Se estimó la ganancia de peso total (GPT) como la diferencia entre el peso inicial y el peso a los 32 d. La ganancia diaria de peso (GDP) se obtuvo dividiendo la ganancia de peso total entre el número de días en el corral. También se obtuvo el consumo de alimento por corral, y junto con los pesos se obtuvo la conversión alimenticia (CA), que se estimó con la siguiente fórmula:

$$CA = (\text{Consumo de alimento, kg}) / (\text{Ganancia diaria de peso, kg})^{-1}.$$

3.4.3 Variables Fisiológicas

3.4.3.1 Temperaturas de la superficie corporal. Dos veces por semana (martes y viernes) y en dos horarios (08:00-10:00 y 13:00-15:00 h), se colectaron las temperaturas de la superficie del cuerpo (TSC) y la frecuencia respiratoria (FR) en 10 animales por corral previamente seleccionados, 5 tipo cebú y 5 tipo europeo. Las TSC se colectaron utilizando una cámara termográfica (Fluke®

Modelo Ti400, Everett, WA, USA), mediante la toma de foto a cada animal seleccionado a 2-4 m de distancia; posteriormente las fotos se descargaban a una computadora utilizando el programa SmartView® 3.9 (Infrared Imaging Analysis and Reporting Software) y se seleccionaba la región anatómica de interés para registrar la temperatura promedio. Se registró la temperatura de: cabeza (TCAB), cuello (TCUE), lomo (TLO), paleta (TPAL), grupa (TGRU), vientre (TVIE) y ojo (TO).

3.4.3.2 Frecuencia respiratoria. Esta variable fue medida en los mismos 10 animales por corral observando el espacio intercostal y registrando el número de respiraciones por minuto (rpm), en los mismos días y horarios señalados, usando un cronómetro para medir el tiempo y un contador manual para contabilizar los eventos. En total fueron 120 animales, 30 por tratamiento.

3.4.3.3 Temperatura interna (subcutánea).

Al inicio de la prueba, durante el primer pesaje, se implantaron Termógrafos Thermotracker 125 (Thermotracker System, Culiacán, Sinaloa, México) en 6 animales por corral, 3 tipo cebú y 3 tipo europeo, mediante una incisión en el cuello, ubicando el termógrafo en la región subcutánea. Las temperaturas corporales subcutáneas (TCS) se colectaron automáticamente en intervalos de 45 min y se recuperaron al momento del sacrificio de los animales en rastro.

3.5 Análisis estadístico

Las variables de comportamiento productivo se sometieron a un análisis de varianza usando un diseño completamente al azar con submuestreo, donde el modelo estadístico incluyó efecto de tipo de sombra como tratamiento y corral anidado en tratamiento:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{(i)j} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = es la variable de respuesta

μ = es la media poblacional de la respuesta

α_i = es el efecto del i-ésimo nivel del factor tipo de sombra ($i = 1, 2, 3, 4$)

$\beta_{(i)j}$ = es el efecto de la anidación corral en tratamiento.

ϵ_{ijk} = es el efecto del error experimental

La FR y las diferentes TSC fueron divididos por mañana 08:00-10:00 h, tarde 13:00-15:00 h y general, sometidos a un arreglo factorial 2 x 4 bajo un diseño completamente al azar, siendo los factores tipo de sombra, 4 niveles, y genotipo, 2 niveles (Petersen, 1985). El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} es la variable de respuesta, FR o TSC

μ es la media poblacional de la respuesta

α_i es el efecto del i-ésimo nivel del factor tipo sombra (i= DCA, DSA, DS, T)

β_j es el efecto del j-ésimo nivel del factor genotipo (j= E, Z)

$(\alpha\beta)_{ij}$ es el efecto de la interacción genotipo x tipo de sombra

ϵ_{ijk} es el efecto del error experimental

En la variable de temperatura interna (subcutánea), el diseño experimental utilizado fue un arreglo factorial 4 x 4 en un diseño completamente al azar, siendo los factores tipo de sombra, DCA, DSA, DS, T (4niveles) y hora del día, 2-7, 8-13, 14-17 y 18-24 (4 niveles,). En el caso del efecto hora del día los niveles son intervalos de tiempo en el que se dividieron las 24 h del día: 2-7, 8-13, 14-17 y 18-24. El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} es la variable de respuesta, temperatura interna (subcutánea)

μ es la media poblacional de la respuesta

$\alpha_{i=}$ es el efecto del i-ésimo nivel del factor tipo sombra (i= DCA, DSA, DS, T)

$\beta_{j=}$ es el efecto del j-ésimo nivel del factor hora del día (j= 2-7, 8-13, 14-17, y 18-24)

$(\alpha\beta)_{ij=}$ es el efecto de la interacción hora del día x tipo de sombra

$\epsilon_{ijk=}$ es el efecto del error experimental

Se estimaron medias ajustadas a los efectos del modelo y se compararon con pruebas de "t" student para parejas de medias. En caso de que la interacción fuera significativa, las medias se analizaron por raza dentro de cada tipo de sombra. Las diferencias se declararon significativas usando un nivel de error de 5%. En ambos modelos se utilizó el procedimiento GLM (General Linear Models) del programa SAS (Statistical Analysis System), versión 9.02 (SAS, 2014).

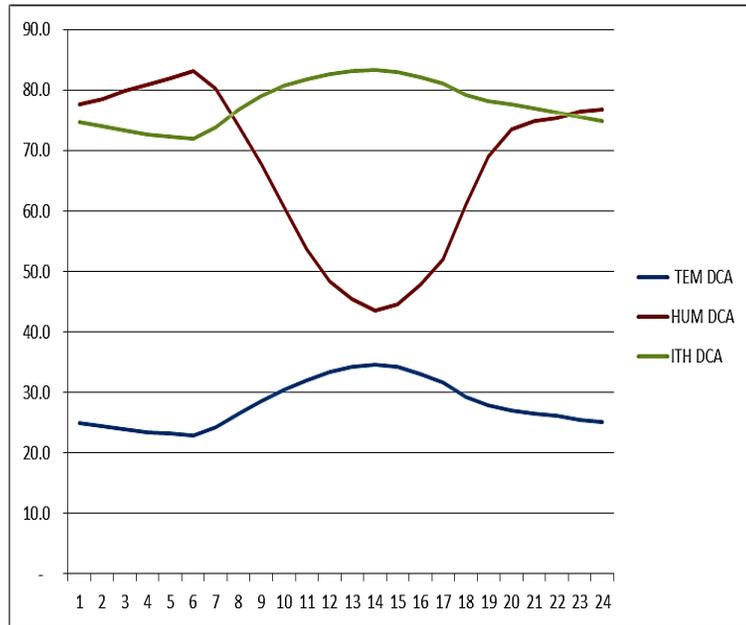
4. RESULTADOS

4.1 Datos climáticos

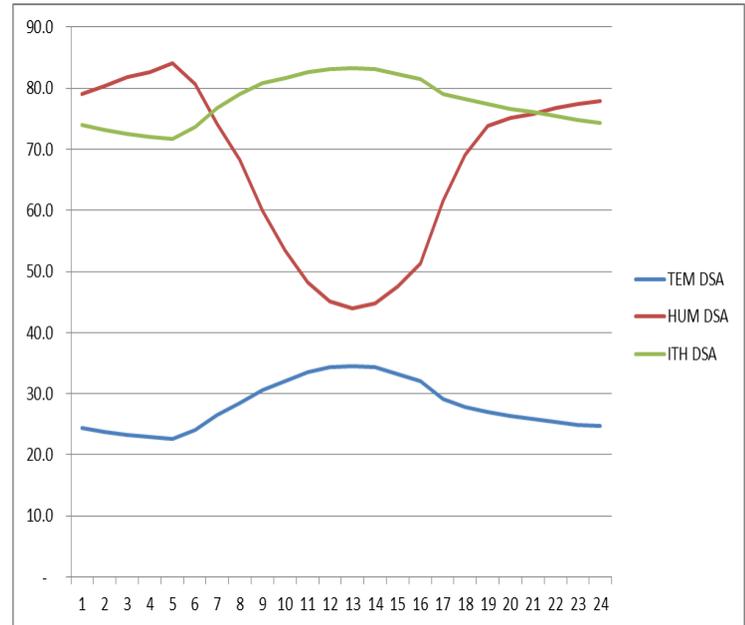
La Figura 1 incluye un resumen de los promedios en las variables climáticas que se presentaron en los diferentes tratamientos durante el estudio. Se consideraron los promedios por hora de temperatura ambiental (T_{prom}), humedad relativa (HR), e índice de temperatura-humedad (ITH) a altura de la cabeza. Como se puede observar, las temperaturas fueron de 28 °C para DCA, DSA y DS, mientras que para el grupo T la temperatura fue 28.9 °C. Los niveles de HR promedio durante el estudio fueron ligeramente menores en DCA y DSA (67 y 67.2) en comparación con DS y T (68), lo que produjo valores de ITH de 77.7 unidades en DCA, DSA y DS, mientras que en el grupo T, fue de 78.8 unidades.

La Figura 2 muestra un resumen de las variables climáticas que se presentaron en promedio por hora durante el estudio en los diferentes tratamientos a la altura del techo. Se consideraron los promedios de la T_{prom} , HR, e ITH en los tratamientos DCA, DSA y DS. Como se observa los valores de la temperatura en promedio para DCA fue de 28.8 °C, DSA presentó 29.2 °C mientras que el grupo DS obtuvo menor temperatura 28.2 °C. Los niveles de HR se presentaron más bajos para el grupo DSA quien tuvo un nivel de 65.9, mientras que el grupo DCA y DS presentaron niveles de 66.7. Lo que produjo valores de ITH de menos cantidad para el grupo DS 77.7, 78.5 para el grupo DCA y 78.8 en DSA respectivamente.

A) DCA



B) DSA



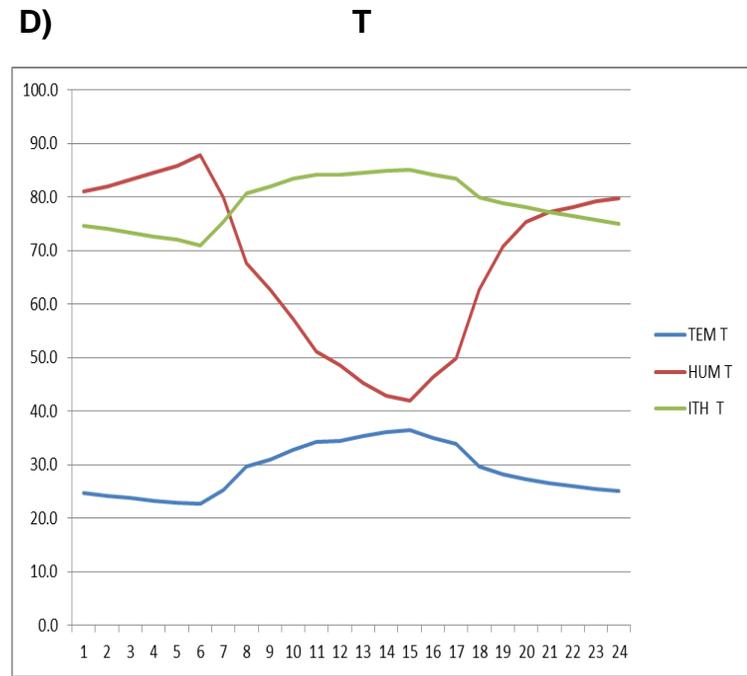
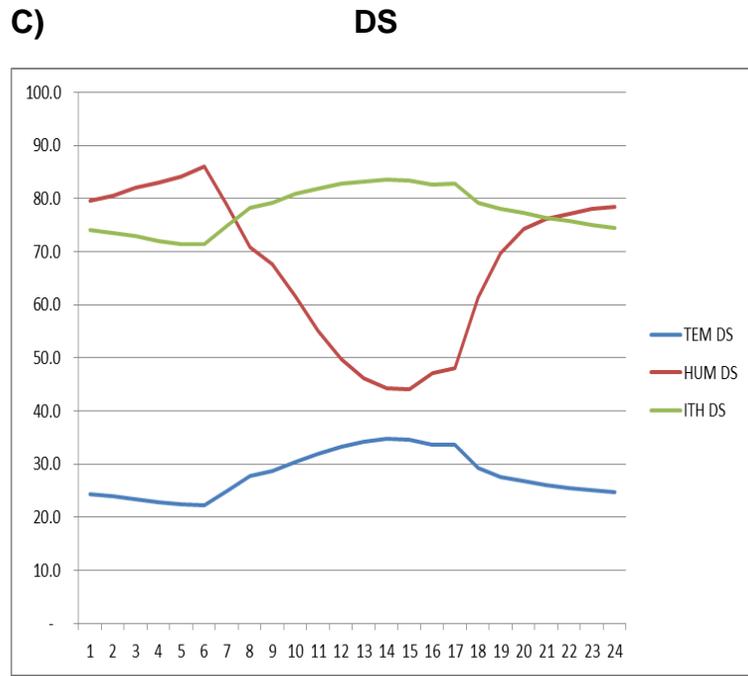


Figura 1. Promedios por hora de temperatura ambiental (T_{prom}), humedad relativa (HR) e índice temperatura-humedad (ITH) durante el periodo experimental a la altura de la cabeza en los diferentes tratamientos: A) Domo con abanico (DCA), B) Domo sin abanico (DSA), C) Doble sombra (DS) y D) Testigo (T).

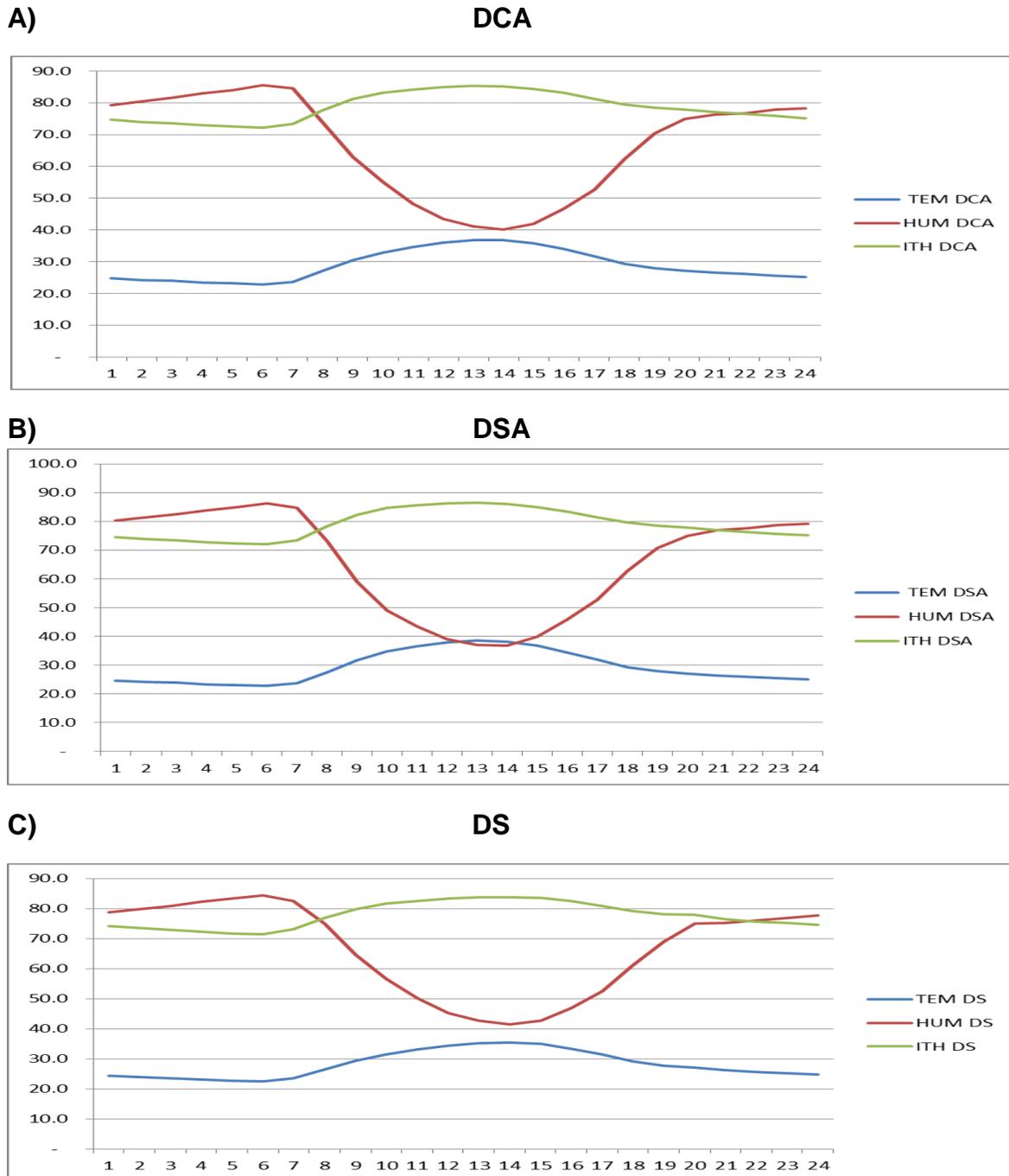


Figura 2. Promedios por hora de temperatura ambiental (T_{prom}), humedad relativa (HR) e índice temperatura-humedad (ITH) durante el periodo experimental en techo en los diferentes tratamientos: A) Domo con abanico (DCA), B) Domo sin abanico (DSA), D) Doble sombra (DS).

4.2 Frecuencia Respiratoria

Cuadro 1. Promedios de frecuencia respiratoria por tipo de sombra y genotipo de toros de engorda en corral por la mañana, tarde y general.

Tipo de sombra / genotipo	Europeo	Cebú
AM		
Domo con abanico	54.82 ^a	52.42 ^a
Domo sin abanico	58.59 ^a	47.46 ^b
Doble sombra	57.81 ^a	55.23 ^b
Testigo	58.50 ^a	51.01 ^b
E.E	0.89	0.90
PM		
Domo con abanico	65.13 ^a	62.32 ^a
Domo sin abanico	79.94 ^a	65.94 ^b
Doble sombra	69.79 ^a	66.30 ^a
Testigo	77.30 ^a	72.61 ^b
E.E.	1.50	1.52
GENERAL		
Domo con abanico	60.00 ^a	57.37 ^b
Domo sin abanico	69.27 ^a	56.79 ^b
Doble sombra	63.80 ^a	60.76 ^b
Testigo	67.90 ^a	61.85 ^b
E.E	1.03	1.05

^{abc} medias de hilera con distinta literal difieren a ($P < 0.05$); AM=08:00 – 10:00 h; 13:00 – 15:00 h; E.E.= Error estándar.

El cuadro 1 presenta los promedios de resultados obtenidos de la FR por la mañana (AM), tarde (PM) y general en animales Cebú y Europeo. Los animales Cebú presentaron una menor FR ($P < 0.05$) por la mañana en los tratamientos DSA, DS y T, siendo similar el tratamiento DCA ($P > 0.05$) para Cebú y Europeo en mañana, tarde y general.

4.3 Temperatura corporal (subcutánea)

El cuadro 2 muestra las temperaturas corporales (subcutáneas) en los toros por hora del día. Durante el periodo 2 – 7 h, el grupo T presentó la menor ($P < 0.05$)

temperatura a diferencia de DSA, quien tuvo la mayor TCS. Durante el horario 8 – 13 h, DCA fue diferente ($P < 0.05$) en relación al resto de los tratamientos presentado las temperaturas más bajas, mientras que a las 14 – 17 h no se presentaron ($P > 0.05$) diferencias entre los tratamientos. Durante el periodo 18 – 24 h, las temperaturas para el grupo T y DS volvieron a ser menores, siendo diferentes ($P < 0.05$) a DSA pero no al grupo DCA ($P > 0.05$), quien en comparación con DSA no mostró diferencias significativas ($P > 0.05$).

Cuadro 2. Promedios de temperatura corporal subcutánea de toros de engorda bajo distintas horas del día durante el estudio.

Hora	Tratamiento	Temperatura
1 (2 – 7 h)	Doble sombra	37.95 ^{ab}
	Domo con abanico	37.98 ^a
	Domo sin abanico	38.03 ^a
	Testigo	37.87 ^b
	E.E.	0.11
2 (8 – 13 h)	Doble sombra	38.49 ^a
	Domo con abanico	38.31 ^b
	Domo sin abanico	38.45 ^a
	Testigo	38.47 ^a
	E.E.	0.11
3 (14 – 17 h)	Doble sombra	38.52 ^a
	Domo con abanico	38.53 ^a
	Domo sin abanico	38.62 ^a
	Testigo	38.52 ^a
	E.E.	0.11
4 (18 – 24 h)	Doble sombra	38.35 ^a
	Domo con abanico	38.37 ^{ab}
	Domo sin abanico	38.47 ^b
	Testigo	38.32 ^a
	E.E.	0.11

^{ab} Medias con distinta literal difieren ($P < 0.05$).

El Cuadro 3 presenta los promedios de las temperaturas de 7 regiones anatómicas del cuerpo por la mañana (AM) y tarde (PM). Por la mañana (AM), los animales en los tratamientos con domo presentaron, en promedio, las menores temperaturas del cuerpo, principalmente en cabeza, cuello y ojo; estos valores fueron significativamente menores ($P < 0.05$) a los grupos T y DS. Sin embargo, las temperaturas del lomo, paleta y grupa por la tarde fueron similares ($P > 0.05$), observándose una tendencia a ser menores en el resto de las regiones anatómicas, sobre todo en el ojo donde DCA presentó la menor ($P < 0.05$) temperatura en relación al resto de los tipos de sombra. Por la tarde se observa una tendencia similar a la mostrada en la mañana, pero con menor intensidad, posiblemente debido a que en lomo, paleta y grupa no se muestran diferencias ($P > 0.05$), mientras que en cabeza, cuello, vientre y ojo de animales bajo el tipo de sombra DCA presentó menores ($P < 0.05$) valores.

El Cuadro 4 exhibe los promedios de los valores generales en la temperatura corporal de las 7 diferentes regiones anatómicas observándose que los animales bajo los grupos DCA y DSA mantuvieron las temperaturas más bajas de la piel, sobre todo en cabeza, cuello y vientre ($P < 0.05$). Sin embargo, el grupo DCA presentó las menores temperaturas ($P < 0.05$) en el lomo, grupa y ojo.

4.4 Temperatura corporal externa

Cuadro 3. Promedios de temperaturas de distintas partes del cuerpo en ganado de engorda sujeto a cuatro tipos de sombra por la mañana y por la tarde.

Tratamiento/variable	Cabeza	Cuello	Lomo	Paleta	Grupa	Vientre	Ojo
AM							
Testigo	33.49 ^a	34.07 ^a	33.52 ^{ab}	33.32 ^b	33.63 ^{ab}	33.52 ^{ab}	34.72 ^a
Doble sombra	33.30 ^a	33.89 ^a	33.92 ^a	34.09 ^a	33.95 ^a	33.99 ^a	34.46 ^a
Domo sin abanico	31.85 ^b	33.23 ^b	33.17 ^b	32.83 ^c	33.41 ^b	32.95 ^c	33.69 ^b
Domo con abanico	31.37 ^b	33.02 ^b	32.65 ^c	32.94 ^{bc}	32.65 ^c	33.04 ^{bc}	33.50 ^b
E.E.	0.21	0.16	0.18	0.17	0.19	0.19	0.15
PM							
Testigo	37.17 ^a	36.19 ^a	36.57 ^a	35.98 ^a	36.40 ^a	35.64 ^{ab}	36.91 ^a
Doble sombra	36.54 ^{ab}	36.25 ^a	36.50 ^a	36.16 ^a	36.43 ^a	36.19 ^a	36.75 ^a
Domo sin abanico	36.59 ^{ab}	36.05 ^b	36.65 ^a	35.76 ^a	36.52 ^a	35.99 ^{ab}	36.73 ^a
Domo con abanico	35.92 ^b	35.56 ^b	36.11 ^a	35.57 ^a	35.97 ^a	35.46 ^b	36.06 ^b
E.E.	0.31	0.20	0.28	0.22	0.27	0.24	0.22

^{abc} Medias con distinta literal difieren a ($P < 0.05$); AM=08:00 - 10:00 h; PM=13:00 - 15:00 h; E.E.=Error estándar.

Cuadro 4. Promedios generales de temperaturas de distintas partes del cuerpo en ganado de engorda sujeto a cuatro tipos de sombra.

GENERAL	Cabeza	Cuello	Lomo	Paleta	Grupa	Vientre	Ojo
Testigo	35.40 ^a	35.17 ^a	35.10 ^a	34.69 ^b	35.06 ^a	34.62 ^b	35.88 ^a
Doble sombra	34.91 ^a	35.07 ^a	35.21 ^a	35.12 ^a	35.17 ^a	34.09 ^a	35.57 ^{ab}
Domo sin abanico	34.21 ^b	34.64 ^b	34.90 ^a	34.29 ^{bc}	34.95 ^a	34.46 ^b	35.19 ^b
Domo con abanico	33.65 ^b	34.28 ^b	34.34 ^b	34.24 ^c	34.27 ^b	34.25 ^b	34.77 ^c
E.E.	0.21	0.14	0.18	0.15	0.18	0.16	0.15

^{abc} Medias con distinta literal difieren ($P < 0.05$); AM=08:00 - 10:00 h; PM=13:00 - 15:00 h; E.E.=Error estándar.

4.5 Comportamiento en corral

Cuadro 5. Promedios de ganancia de peso total (GPT), ganancia diaria de peso (GDP), consumo de alimento (CON), conversión alimenticia (CA) del primer periodo por tratamiento durante el estudio.

Tratamiento / variable	GPT	GDP	CON	CA
Domo con abanico	57.63 ^a	1.867 ^a	8.57 ^a	4.974 ^a
Domo sin abanico	50.72 ^{bc}	1.653 ^c	8.41 ^b	5.443 ^b
Doble sombra	53.50 ^b	1.757 ^b	8.18 ^c	4.993 ^a
Testigo	48.62 ^c	1.613 ^c	8.29 ^c	5.549 ^b
E.E.	1.29	0.039	0.25	1.24

^{abc} Medias en columna con distinta literal difieren ($P < 0.05$).

El Cuadro 5 muestra los promedios de la ganancia de peso total (GDT), ganancia diaria de peso (GDP), consumo de alimento (CON) y conversión alimenticia (CA), por tratamiento (DCA, DSA, DS, y T) durante el estudio. El DCA presentó mayor ($P < 0.05$) GPT en relación al resto de los tratamientos, siendo la diferencia de 9 kg comparado en el grupo T y de 7 kg con el grupo DSA. La GPT fue similar ($P > 0.05$) entre los grupos DS y DSA, mientras que la del grupo T fue solo similar al DSA. La variable GDP fue mayor ($P < 0.05$) en el grupo DCA respecto a los demás tratamientos. Los grupos DSA y T tuvieron similar ($P > 0.05$) GDP, mientras que DS obtuvo mayor ($P < 0.05$) GDP que los grupos DSA y T. En CON, los tratamientos DSA, DS y T presentaron menor ($P < 0.05$) promedio con respecto al tratamiento DCA, mismo que obtuvo el mayor consumo de alimento, seguido por DSA, T y DS; éste último presentó el menor consumo. Por otra parte,

la CA fue mejor para los grupos DCA y DS, quienes obtuvieron ($P < 0.05$) menor CA que DSA y T; estos últimos fueron similares ($P > 0.05$) entre ellos.

5. DISCUSIÓN

Durante los meses de verano, el ganado de engorda es expuesto a situaciones estresantes por el clima adverso, sobre todo cuando se encuentran en regiones con temperaturas cálidas y húmedas, lo que se traduce en pérdidas productivas. En el presente estudio se utilizó un modelo de índice de temperatura-humedad (ITH) para evaluar variables climatológicas y considerar el tipo de estrés en el que se encontraban los animales. Las temperaturas, máximas mínimas y promedio registradas durante el periodo experimental fueron 39.0, 19.4 y 29.4 °C, respectivamente, con una humedad relativa máximas mínimas y promedio de 85, 56 y 65.3%. Estos valores climáticos proporcionaron un ITH máximo, mínimo y promedio de 83.1, 74.2 y 80.0 unidades. Mader *et al.* (2006) mencionan que en ganado productor de carne, cuando el ITH alcanza valores 74 unidades, empieza a mostrar signos fisiológicos de EC como aumento en la frecuencia respiratoria y temperatura corporal, y disminución del consumo de alimento. Respuestas fisiológicas similares se observaron en el presente estudio, ya que con ITH de 78 unidades los animales incrementaron su frecuencia respiratoria, siendo más contrastante en ganado europeo. Por otra parte, Brown-Brandl *et al.* (2005) clasificaron los valores de ITH en ganado de engorda de la siguiente forma: 74 unidades se considera “normal”; entre 74 y 79 unidades es “alerta”; entre 79 a 84 unidades es “peligro”; mientras que valores > 84 se consideran “emergencia”. Bajo estas categorías, el valor de ITH promedio en este estudio (78 unidades) considera al ganado en un estado de alerta. En esta clasificación el ganado de engorda empieza a disminuir el consumo de alimento y hacer uso de sus

mecanismos fisiológicos para disipar el calor (Nienaber y Hahn, 2007). Tal es el caso del presente estudio, donde se observó que en ITH de 78 unidades, los animales hicieron mayor uso de sus mecanismos fisiológicos para disipar el calor durante las horas más calurosas del día (13:00 a 15:00 h), siendo más notorio en animales con menor cobertura de sombra.

Uno de los principales mecanismos fisiológicos que expresa el animal cuando se encuentra estresado por calor es el aumento en frecuencia respiratoria. Los animales sometidos a los diferentes tipos de sombra, independientemente del genotipo (*Bos taurus* o *Bos indicus*), mantuvieron su frecuencia respiratoria normal (< 60 rpm) durante el lapso de la mañana (08:00 a 10:00 h) en condiciones de termoneutralidad (ITH=75.6 unidades). Sin embargo, durante el periodo de la tarde (13:00 a 15:00 h), el ganado Cebú presentó las menores frecuencias respiratorias en los diferentes tipos de sombra en comparación con ganado europeo en estrés calórico severo (ITH=83.2 unidades). Esto indica que el ganado Cebú presentó mejor adaptación a condiciones de estrés calórico. Por su parte, Hammond et al. (1998) encontraron que durante los meses de julio y agosto (ITH=80.8 a 85.2), el ganado *Bos indicus* presentó menor FR que ganado *Bos taurus* en condiciones de EC. La disminución en FR en ganado *Bos indicus* se debe, en parte, a que esta raza utiliza el mecanismo fisiológico de sudoración en forma más eficiente para disipar calor, por el contrario, este mecanismo es menos eficaz en ganado *Bos Taurus*, por lo que depende principalmente del uso de la frecuencia respiratoria y jadeo (Thomson et al., 2011). Por otra parte, los valores de FR dependen de la categoría del estrés y el tiempo de exposición al que se encuentran los animales.

Brown-Brandl et al. (2005) observaron que animales Angus y Hereford a los que se les proporcionó sombra tuvieron menor FR en los niveles de estrés alerta (5.56%), peligro (6.55%) y emergencia (11.88%), esto en comparación con animales sin sombra. Eigenberg et al. (2005) reportaron menor FR en animales que estuvieron bajo sombra, sobre todo en las horas más calurosas del día (10:00 a 15:00 h). Adicionalmente, la incorporación de sistemas de enfriamiento a las instalaciones de sombreo pueden proporcionar mayor confort a los animales, de tal manera que se minimicen la frecuencia respiratoria en condiciones de estrés por calor. Resultados similares fueron observados en este estudio, donde la menor frecuencia se presentó en domo con abanico en comparación con el resto de los tipos de sombra.

La temperatura en la superficie corporal (TSC) del animal es otro de los cambios producidos por efecto del EC. Cuando la temperatura en la superficie corporal aumenta, puede existir un intercambio de calor entre el animal y el medio ambiente, como resultado de ajustes circulatorios hacia la periferia del cuerpo de manera que se pueda disipar el calor (Montanholi *et al.*, 2009). Bajo este planteamiento se producen cambios en la temperatura externa del cuerpo, en donde la medición de esta variable puede ser determinado mediante la termografía infrarroja. El uso esta técnica permite evaluar con suficiente precisión la temperatura de diferentes regiones anatómicas del cuerpo, y así detectar gradientes de temperatura en varios puntos específicos en el animal (Knizková *et al.*, 2007). En el presente estudio se encontraron resultados favorables para el grupo DCA, ya que animales bajo este tipo de sombra experimentaron menor TSC

en relación al restos de los tratamientos, especialmente en cabeza, cuello y ojo (33.65, 34.28 y 34.77 °C). Cardoso et al. (2015) encontraron valores similares en las temperaturas de la superficie corporal, encontrando las mayores temperaturas en grupa, ojo, cuello y axila de cinco diferentes razas de ganado Cebú. Estos autores reportan valores en ojo de $35\pm 2^{\circ}\text{C}$, y grupa de $31\pm 2^{\circ}\text{C}$, mientras que en este estudio, los valores en ojo y grupa fueron 34 ± 2 y $34\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ respectivamente. La diferencia de temperaturas en las regiones del cuerpo puede deberse a la exposición a rayos solares en caso de la grupa, lomo y cuello, sin embargo, la temperatura del ojo es considerada como el mejor indicador de estrés en cuanto a región anatómica tomada con esta técnica dado su sistema de vascularización que posee (Stewart et al., 2005). Por su parte, Stewart et al. (2007) encontraron que la temperatura del ojo aumenta debido a la vascularización sanguínea que existe en la frontera del párpado, por los constantes cambios en el flujo sanguíneo, debido a la acción que muestra el sistema simpático cuando existe estrés por calor. Church et al. (2014), utilizando termografía infrarroja, encontraron que existe una correlación positiva entre la temperatura del ojo y la temperatura rectal, no obstante la rectal fue consistentemente mayor que la del ojo (37.55 vs 39.24°C) en novillos Angus. Dichos resultados sugieren que la utilización de esta técnica puede ser una alternativa para reemplazar el uso invasivo de termómetros rectales en la obtención de temperatura corporal de animales domésticos, además, la utilización de esta técnica tiene como ventaja una menor manipulación del animal, lo cual le causa menos estrés en comparación con el uso de termómetros rectales.

La temperatura corporal subcutánea en ganado bovino ha sido utilizada como un sistema de monitoreo para detectar temperaturas anormales en los animales (Montanholi *et al.*, 2009). En el presente estudio, el monitoreo de la temperatura corporal subcutánea fue analizada para encontrar valores de temperatura sin alterar la conducta de los animales expuestos a estrés por calor bajo diferentes tipos de sombra. Los menores valores obtenidos fueron en el periodo de la mañana (2-7 h) en el grupo testigo (37.9 °C). Estos resultados son producto de una menor cobertura de sombra por animal presente en este grupo y a la transferencia de calor que existe por medio de radiación. Es posible que los animales en los grupos T y DS tuvieran una mayor recuperación nocturna del calor acumulado en el día, ya que el tipo de sombra les permitió perder calor durante la noche al exponerse al ambiente, es decir, salir de la sombra para eliminar calor corporal por radiación. En tanto que para el lapso de tiempo de 8 – 13 h, las menores temperaturas fueron para el grupo DCA, lo que se atribuye a la efectividad del sistema de enfriamiento utilizado durante horas calurosas del día. No obstante, los animales bovinos presentan ritmos circadianos; antes de caer la tarde se presentan las mayores temperaturas, mientras que durante las horas de la noche y el amanecer se presentan las temperaturas más bajas (Sparke *et al.*, 2001). Lee *et al.* (2016) encontraron que en novillos Holstein, las temperaturas corporales subcutáneas obtenidas de 3 sitios diferentes presentaron ritmos circadianos dependientes de la temperatura ambiental. En concordancia con este estudio, los valores en la temperatura subcutánea presentan similares patrones del perfil de temperatura en ritmos circadianos en las diferentes horas del día. En este sentido, Cunningham (2014) hace mención que este parámetro se encuentra

condicionado en función al flujo sanguíneo que existe por altas temperaturas y/o enfermedades, lo que se traduce en un posible aumento en la temperatura cutánea debido a un incremento en el flujo sanguíneo, como efecto de la redistribución sanguínea hacia la periferia. Este comportamiento en la temperatura corporal subcutánea fue similar a los del estudio en cuestión, lo que indica que este parámetro puede ser una alternativa viable para la medición de la temperatura corporal.

La utilización de sombras, sistemas de enfriamiento o la combinación de ellos pueden ser una alternativa para contrarrestar los efectos negativos de las condiciones climáticas en la productividad de los animales (Mitlöhner *et al.*, 2001; Correa-Calderón *et al.*, 2007; Gaughan *et al.*, 2010). En este sentido, el presente estudio incluyó el uso de sombra en combinación con ventilación forzada para mejorar la respuesta productiva, dando resultados favorables en el grupo DCA, el cual obtuvo mayor ganancia de peso total, ganancia diaria de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia en relación al resto de los tipos de sombra utilizados. Por otra parte, los grupos DSA y T obtuvieron las menores GDP Y GPT, lo que pudo deberse a que la estructura implementada fue cerrada, y ante condiciones de alta humedad, pudo resultar perjudicial para este tipo de explotaciones. Barajas *et al.* (2010) realizaron un estudio en la misma región que la del presente estudio pero durante los meses de junio y julio; probaron el uso de sombra como alternativa para mitigar los efectos de estrés calórico, siendo la sombra ofrecida de 3 m² por animal, encontrando que la sombra redujo levemente la temperatura del aire. Sin embargo, la ganancia diaria de peso y el peso final no

fueron mejoradas. Estos resultados contrastan con los obtenidos en la presente investigación, dado que la implementación de sombra mejoró el comportamiento productivo sobre todo en los animales que estuvieron provistos de sombra tipo Domo. No obstante, Mitlohner et al. (2001a) encontraron que proporcionar un área de sombra de 2 m²/animal mejoró la respuesta productiva, la fisiología y conducta en comparación con los animales que no se les proporcionó sombra.

En otro estudio realizado por Correa et al. (2004), se comparó la respuesta productiva en novillos Holstein proporcionando un sistema de enfriamiento a espacio abierto combinado con sombra. Este sistema consistió en abanicos de 2.4 m de diámetro más la colocación de aspersores de agua, realizando el estudio en condiciones áridas y secas del valle de Mexicali, B.C., bajo un ITH de entre 84 y 90 unidades durante 90 d de prueba. El sistema de enfriamiento dio respuesta positiva ante las respuestas fisiológicas del ganado, sin embargo, el comportamiento productivo fue similar entre ambos grupos. Por su parte, Mitlohner et al. (2001b) probaron la utilización de sombra, aspersores y la combinación de ellos (sombra y aspersores) contra un grupo desprovisto de protecciones durante la época de verano. Las vaquillas a las que se les proporcionó sombra mejoraron la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia a diferencia de vaquillas desprovistas de sombra, alcanzando su peso final 20 d antes. Los autores concluyen que la implementación de sombras es una alternativa suficiente para contrarrestar los efectos que tiene el estrés calórico sobre los animales.

6. CONCLUSIÓN

Se concluye que la sombra tipo domo con abanicos, estrategia proporcionó un área de sombra de 8.5 m² por animal, fue la que mayor impacto positivo mostró sobre las variables fisiológicas y productivas obtenidas en ganado de engorda en corral. Dentro de las fisiológicas se observó reducción de la temperatura corporal y en la frecuencia respiratoria, mientras que en las productivas se observó mayor ganancia total, consumo de alimento, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia, como también. Esto sugiere que el uso de sombra en combinación de con ventilación forzada en el corral de engorda durante condiciones de estrés calórico moderado en regiones con climas húmedos y calurosos puede ser una buena alternativa para contrarrestar los efectos del estrés por calor en animales de engorda en etapa de finalización.

Sin embargo, es importante considerar el costo de esta estrategia para determinar si es viable debido a la inversión que se genera por la construcción de este tipo de estrategia de enfriamiento.

8. LITERATURA CITADA

- Arias R. A., and T. L. Mader. 2011. Environmental factors affecting daily water intake on cattle finished in feedlots. *J. Anim. Sci.* 89: 245–251.
- Arias, R. A., T.L. Mader, and P. C. Escobar. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch. Med. Vet.* 40: 7- 22.
- Avendaño, L., Álvarez, F.D., Correa, A., Torrentera, N.G., Torres, V. y Ray, D.E. 2011. Frecuencia de alimentación e iluminación nocturna y productividad de vaquillas para engorda en verano. *Arch. Zoot.* 60:1-8.
- Barajas, C. R., Cervantes, P. B., Velázquez E. E., Romo R. J., Aguirre O. J., Martínez G. S. y Eugenio G. D. 2010. Efecto de sombra en el corral de engorda en la respuesta productiva de toretes en finalización de la época fresca y seca. *Zootecnia Trop.* 28(4): 517-518.
- Beatty, D. T. A. Barnes, E. Taylor, D. Pethick, M. McCarthy, and S. K. Maloney 2006. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *J. Anim. Sci.* 84:972–985.
- Beede, D. K., and R. J. Collier. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.* 62: 543-554.
- Bernabucci, U., N. Lacetera, L. H. Baumgard, R. P. Rhoads, B. Ronchi and A. Nardone. 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Anim. Sci.* 4: 1167-1183.
- Berry, R. J., A. D. Kennedy, S. L. Scott, B. L. Kyle, and A. L. Schaefer. 2003. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. *Can. J. Anim. Sci.* 83: 687-693.
- Bohmanova, J., L. Misztal, and J. B. Cole. 2007. Temperature-Humidity Indices as Indicators of Milk Production Losses due to Heat Stress. *J. Dairy Sci.* 90:1947–1956.
- Brown-Brandl, T. M., R. A. Eigenberg, J. A. Nienaber, G.L. Hahn. 2005. Dynamic Response Indicators of Heat Stress in Shaded and Non-shaded Feedlot Cattle, Part 1: Analyses of Indicators. *J. Biosyst. Eng.* 90: 451–462.
- Brown-Brandl, T.M., J. A. Nienaber, R. A. Eigenberg, T. L. Mader, J. L. Morrow, and J. W. Dailey. 2006. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livest. Sci.* 105: 19– 26.

- Cain, J. W., P. R. Krausman, S. Rosenstock, and J. C. Turner. 2006. Mechanisms of thermoregulation and water balance in desert ungulates. *Wild. Soc. Bull.* 34: 570- 581.
- Cardoso, C.C., V. Peripolli, S.A. Amador, E. G. Brandão, G. I. F. Esteves, C. M. Z. Sousa, M. F. M. S. França, F. G. Gonçalves, F. A. Barbosa, T.C. Montalvão, C. F. Martins, A.M. Fonseca Neto, and C. McManus. 2015. Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livest. Sci.* 182: 83–92.
- Church, J.S., P. R. Hegadoren, M. J. Paetkau, C. C. Miller, G. Regev-Shoshani, A. L. Schaefer, and K. S. Schwartzkopf-Genswein. 2014. Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle. *Res. Vet. Sci.* 96: 220-226.
- Collier, R. J., G. E. Dahl, and M. J. VanBaale. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89: 1244-1253.
- Collin A., J. Van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pigs. *Brit. J. Nutr.* 86: 63-70.
- Consejo Nacional de los Recursos Genéticos y Pecuarios (CONARGEN). 2013. Consultado el 26/1/2016, <http://www.conargen.mx/index.php/asociaciones/bovinos-carne>.
- Cony, P., G.A. Casangrade, G.T. Vengara. 2004. Caloric stress index quantification for dairy cows in Anguil, La Pampa (Argentina). *Rev. Fac. Agro.* 15:9-15.
- Correa-Calderón, A., Yáñez, V. y Verdugo, F. 2004. Efecto de un sistema de enfriamiento a espacio abierto en la eficiencia productiva de novillos Holstein durante el verano. *Interciencia.* 29:86-88.
- Correa-Calderón, A., Yañez-Cantabrana, V. M. Verdugo-Zárate, F. J. Avendaño-Reyes, L. Alvarez-Almora, E. Árechiga-Flores, C. F. y Rivera-Acuña, F. 2007. Respuesta fisiológica y productiva de novillos engordados con un sistema de enfriamiento a espacio abierto en un clima árido y seco. *Téc. Pec. Mex.* 45(3):345-354.
- Cunningham, J. G. 2014. *Fisiología Veterinaria.* (5ta edición). Ed. Elsevier. México, D.F.
- Eigenberg, R.A., T.M. Brown-Brandl, J.A. Nienaber, and G.L. Hahn. 2005. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 2: predictive relationships. *Biosyst. Eng.* 91: 111-118.

- Financiera Rural. 2012. Monografía de Carne de Bovino, Pp 1-11. Consultado en 28/1/2016.
- Gaughan, J. B., N. Lacetera, S. E., Valtorta, H. H., Khalifa, L., Hahn G. L. and T. Mader. 2009. Response of domestic animals to climate challenges. In: K. L. Ebi, I. Burton and G. R. McGregor (ed.), *Biometeorology of Adaptation to Climate Variability and Change*. Pp. 131–170. Springer Sci. Heidelberg, Germany.
- Gaughan, J. B., S. Bonner, I. Loxton, T. L. Mader, A. Lisle, and R. Lawrence. 2010. Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 88: 4056-4067.
- Gaughan, J. B., S. M. Holt, G. L. Hahn, T. L. Mader and R. Eigenberg. 2000. Respiration rate – is it a good measure of heat stress in cattle?. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 13: 329-332.
- George, W. D., R. W. Godfrey, R. C. Ketring, M. C. Vinson, and S. T. Willard. 2014. Relationship among eye and muzzle temperatures measured using digital infrared thermal imaging and vaginal and rectal temperatures in hair sheep and cattle. *J. Anim. Sci.* 92: 4949-4955.
- Hahn G. L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77: 10-20.
- Hansen, P.J. 2004. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Anim. Reprod. Sci.* 82: 349–360.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of working group III to the fourth Assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. [(eds) B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer]. Chapter 8 Agriculture, pp 498-540. Cambridge University Press.
- Knížková, I., P. Kunc, G. A. K. Gürdil, Y. Pinar, and K. C. Selvi. 2007. Applications of infrared thermography in animal production. *J. Fac. Agric.* 22: 329- 336.
- Lee, Y., J.D. Bok., H.J. Lee, H.G. Lee, D. Kim, I. Lee, S.K. Kang and Y.J. Choi. 2016. Body temperature monitor using subcutaneously implanted Thermo-Loggers from Holstein steers. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 2:299-306.
- Luciane S.M., S. J. Holmer, L. S. Saulo, and J. C. C. Balieiro. 2010. Alternative body sites for heat stress measurement in milking cows under tropical conditions and their relationship to the thermal discomfort of the animals. *Int. J. Biometeorol.* 54: 647-652.
- Mader T. L., S. M. Holt, G. L. Hahn, M. S. Davis, and D. E. Spiers. 2002. Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 80: 2373-2382.

- Mader, T. L. 2002. Environmental stress in confined beef cattle. *J. Anim. Sci.* 81:E110–E119.
- Mader, T. L., and M. S. Davis. 2004. Effect of management strategies on reducing heat stress of feedlot cattle: Feed and water intake. *J. Anim. Sci.* 82: 3077–3087.
- Mader, T. L., J. M. Dahlquist, G. L. Hahn, and J. B. Gaughan. 1999. Shade and wind barrier effects on summertime feedlot cattle performance. *J. Anim. Sci.* 77: 2065-2072.
- Mader, T. L., L. J. Johnson, and J. B. Gaughan. 2010. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *J. Anim. Sci.* 88:2153–2165.
- Mader, T. L., M. S. Davis, and T. Brown-Brandl. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84:712–719.
- Mitlöhner, F. M., J. L. Morrow, J. W. Dailey, S. C. Wilson, M. L. Galyean, M. F. Miller, and J. J. McGlone. 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 79: 2327-2335.
- Mitlöhner, F. M., J. L. Morrow, J. W. Dailey, S. C. Wilson, M. L. Galyean, M. F. Miller, and J. J. McGlone. 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 79: 2327–2335.
- Mitlöhner, F. M., M. L. Gaylean, and J. J. McGlone. 2002. Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers. *J. Anim. Sci.* 80:2043–2050.
- Montaldo, H. H. Casas, E. Sterman-Ferrz, J. B. Vega-Murillo, V. E. and Román-Ponce, S. I. 2012. Opportunities and challenges from the use of genomic selection for beff cattle breeding in Latin America. Publications from USDA ARS/ UNL Faculty. Paper822.<http://digitalcommons.unl.edu/Usdaarsfacpub/822>.
- Montanholi, Y.R. K.C. Swanson, F.S. Schenkel, B.W. McBride, T.R. Caldwell, and S.P. Miller. 2009. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. *Livest. Sci.* 125: 22–30.
- Navas, P.A. Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Rev. Med. Vet.* 19.

- Nienaber, J.A. and G. L. Hahn. 2007. Livestock production system management responses to thermal challenges. *Int. J. Biometeorol.* 52: 149–157.
- Nienaber, J.A., G.L. Hahn, T.M. Brown-Brandl, and R.A. Eigenberg. 2003. Heat stress climatic conditions and the physiological responses of cattle. *Proc. 5th International Dairy Housing Conference*. Fort Worth, Texas, USA. ASAE publication N° 701P0203, pp 255-262.
- NRC. 1981. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. National Academic, Washington, DC, pp 75-84.
- Oliveira-Menegassi, S, R., G. Ribas-Pereira, E. Antunes-Dias, C. Koetz, F. Guiselli-Lopes, C. Bremm, C. Pimentel, R. Branco-Lopes, M. Kuczynski da Rocha, H. Robattini-Carvalho and J. O. Jardim-Barcellos. 2016. The uses of infrared thermography to evaluate the effects of climatic variables in bull's reproduction. *Int. J. Biometeorol.* 60: 151-157.
- Schaefer, A. L., N. Cook, S. V. Tessaro, D. Deregt, G. Desroches, P. L. Dubeski, A. K. W. Tong, and D. L. Godson. 2004. Early detection and prediction of infection using infrared thermography. *J. Anim. Sci.* 84: 73-80.
- Schaefer, A.L., N. J. Cook, C. Bench, J.B. Chabot, J. Colyn, T. Liu, E. K. Okine, M. Stewart, and J. R. Webster. 2012. The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. *Res. Vet. Sci.* 93: 928-935.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2014). Consultado 24-01-2016 en <http://www.siap.gob.mx/resumen-nacional-pecuario/>
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 67: 1–18.
- Silva, L, M., S. S. da Luz, G. M. da Costa, C. R. R. P. da Silva, and P. P. Leme. 2016. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. *Int. J. Biometeorol.* 60: 173-181.
- Sparke, E.J., B.A. Young, J.B. Gaughan, M. Holt, and P.J. Goodwin. 2001. Heat load in feedlot cattle. Meat and Livestock Australia Ltd. Project Flot. 307-309, North Sydney, NSW, Australia.
- Stewart, M., J. R. Webster, A. L. Schaefer, N. J. Cook, and S. L. Scott. 2005. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Anim. Welfare.* 14: 319-325.

- Stewart, M., J.R. Webster, G. A. Verkerk, A. L. Schaefer, J. J. Colyn, and K. J. Stafford. 2007. Non-invasive measurement of stress in dairy cows using infrared thermography. *Physiol. Behav.* 92: 520–525.
- St-Pierre, N. R., B. Cobanov, and G. Schnitkey. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.* 86: 52–77.
- Sullivan, M. L., A. J. Cawdell-Smith, T. L. Mader and J. B. Gaughan. 2011. Effect of shade area on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 89: 2911–2925.
- Talukder, S., K. L. Kerrisk, L. Ingenhoff, P.C. Thomson, S.C. Garcia, and P. Celi. 2014. Infrared technology for estrus detection and as a predictor of time of ovulation in dairy cows in a pasture-based system. *Theriogenology.* 81: 925-935.
- Thompson, V. A., J. G. Fadel, and R. D. Sainz. 2011. Meta-analysis to predict sweating and respiration rates for *Bos indicus*, *Bos taurus*, and their crossbreds. *J. Anim. Sci.* 89:3973–3982.