

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



TESIS:

"Efecto de la sombra en la fisiología y respuesta productiva de vaquillas finalizadas en clima cálido "

**Que para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Agropecuarias**

PRESENTA:

M.C. José Antonio Aguilar Quiñonez

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Rubén Barajas Cruz

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Leonel Avendaño Reyes

Culiacán, Sinaloa, México; a 20 de julio de 2021

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR JOSÉ ANTONIO AGUILAR QUINONEZ, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y FUE APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR


DR. RUBEN BARAJAS CRUZ

CO-DIRECTOR


DR. LEONEL AVENDAÑO REYES

ASESOR


DR. JUAN EULOGIO GUERRA LIERA

ASESOR


DR. MIGUEL ANGEL GASTELUM DELGADO

ASESOR


DRA. BRICEIDA ORTIZ LÓPEZ

CULIACAN, SINALOA, JULIO DE 2021



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán Sinaloa el día 15 del mes Julio del año 2021, el (la) que suscribe alumno (a) del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias con número de cuenta 06156789 de la Unidad Académica Medicina Veterinario y Zootecnia, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Rubén Bargas Cruz y de acuerdo al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor, cede los derechos del trabajo intitulado* EFFECTO DE LA SOMBRA EN LA FISIOLÓGIA RESPUESTA PRODUCTIVA E VAQUILLAS FINALIZADAS EN CLIMA CÁLIDO*, a la Universidad Autónoma de Sinaloa para su publicación, difusión, edición, reedición, traducción, compilación, distribución y explotación en medios impresos y digitales, con fines académicos y de investigación, la que será titular del mismo, en forma conjunta o separada con el autor.

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 ésta 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.

En apego al Art. 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor Cedo el derecho de publicación, difusión, edición, reedición, traducción, compilación, distribución y explotación en medios impresos y digitales, con fines académicos y de investigación a la Universidad Autónoma de Sinaloa.



José Antonio Aguilar Quiñonez

Nombre completo y firma



UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional

Restricciones de uso

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

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



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

DEDICATORIA

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.

A la empresa Engorda Rancho Nuevo, por habernos dado la confianza y oportunidad de trabajar en sus instalaciones.

Al Dr. 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. Rubén Barajas Cruz, por compartir sus conocimientos, enseñanzas y amistad, por sus comentarios siempre certeros, consejos y sugerencias para ser y tener un mejor concepto de importancia de mi formación.

Al Dr. Miguel Ángel Gastelum Delgado, por sus valiosos consejos, comentarios, enseñanzas en el aula y la gran motivación para seguir adelante.

Al Dr. Ángel Suarez Hernández por todo el apoyo que me brindo el mal amigo.

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

AGRADECIMIENTOS

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, porque 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 los amo.

A mi esposa Jessica Reyes Millán por su amor, paciencia, comprensión y apoyo incondicional, por aguantarme estos últimos 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...

A la familia que formamos entre amigos "Pai-Squad" que entre todo y ante todo siempre estamos al pendiente de cada uno de nosotros.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Cambio climático y ganado de engorda en corral.....	3
2.2. Estrés calórico y variables fisiológicas en ganado de engorda en corral	5
2.2.1. Frecuencia respiratoria e índice de jadeo.....	5
2.2.2. Temperatura corporal.....	7
2.2.3. Consumo de alimento.....	8
2.3. Estrés calórico y parámetros bioquímicos en sangre.....	9
2.3.1. Metabolitos.....	9
2.3.2. Electrolitos	11
2.3.3. Hormonas.....	13
2.3.4. Hematología.....	14
2.4. Estrés calórico y la productividad de ganado de engorda en corral....	16
2.4.1. Efecto del genotipo del animal.....	16
2.4.2. Uso de sombras en ganado de engorda en corral.....	17
2.4.3. Uso de la termografía infrarroja en ganado de engorda en corral.....	19
2.5. Literatura citada.....	20
CAPITULO III: ARTICULO 1	30
3.1. Resumen.....	30
3.2. Abstract.....	31
3.3. Introducción.....	31
3.4. Materiales y métodos.....	33
3.4.1. Lugar del estudio y duración.....	33
3.4.2. Animales experimentales, tratamientos y dieta usados.....	33
3.4.3. Procedimiento experimental.....	34

3.4.4. Variables de respuesta.....	34
3.4.5. Análisis estadístico.....	35
3.4. Resultados	36
3.4.1. Variables climáticas	36
3.4.2. Electrolitos.....	36
3.4.3. Metabolitos.....	36
3.4.4. Hematología.....	37
3.4.5. Hormonas T3 y T4.....	37
3.5. Discusión.....	38
3.5.1. Variables climáticas.....	38
3.5.2. Electrolitos.....	38
3.5.3. Metabolitos.....	39
3.5.4. Hormonas T3 y T4.....	40
3.5.5. Hematología.....	41
3.6. Conclusiones e implicaciones.....	43
3.7. Agradecimientos.....	44
3.8. Bibliografía.....	44
CAPITULO IV: ARTICULO 2.....	54
4.1. Abstract.....	54
4.2. Introduction.....	55
4.3. Material and methods.....	56
4.3.1. Location and duration of the study.....	56
4.3.2. Animals, treatments, and facilities.....	57
4.3.3. Heifer´s genotype.....	57
4.3.4. Feeding and diet composition.....	58
4.3.5. Experimental procedure.....	58
4.3.6. Collection of response variables.....	58
4.3.7. Statistical analysis.....	59
4.4. Results and discussion	59
4.4.1. Climatic variables.....	59
3.4.2. Physiological variables.....	61

4.4.3. Respiration frequency.....	61
4.4.4. Body surface temperatures.....	62
4.4.5. Production performance.....	64
4.5. Conclusions	65
4.6. Conflict of interest.....	65
4.7. References	65
CAPITULO V: CONCLUSIONES GENERALES.....	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Titulo	Página
1	Promedios de variables climáticas registradas en la mañana, en la noche y en el periodo completo durante el estudio (*Agosto a septiembre).....	49
2	Concentraciones séricas de electrolitos y metabolitos en vaquillas <i>Bos indicus</i> y <i>Bos taurus</i> sujetos a dos diferentes áreas de sombra.....	50
3	Variables hematológicas en vaquillas <i>Bos indicus</i> y <i>Bos taurus</i> sujetas a dos diferentes áreas de sombra	52
4	Table 1. Minimum, maximum and mean daily averages of climatic variables (RH, AT, and THI) in three periods of time (daylight, darkness, and total) during the study	70
5	Table 2. Averages and standard errors of main effects for some body surface (rump, eye, snout) temperatures in feedlot heifers during the fattening period	71
6	Table 3. Averages and standard errors for productive performance traits of heifers subjected to two different shade areas.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Concentraciones de glucosa en vaquillas <i>Bos indicus</i> y <i>Bos taurus</i> sujetas a dos diferentes áreas de sombra.....	51
2	Concentraciones de hemoglobina y hematocrito en vaquillas <i>Bos indicus</i> y <i>Bos taurus</i> sujetas a dos diferentes áreas de sombra.....	53
3	Figure 1. Interactions genotype (E and Z) x time of the day (AM and PM) and shade area (C and T) x genotype on respiration frequency of feedlot heifers during the fattening period.....	73
4	Figure 2. Interactions Treated (C and T) x time of the day (AM and PM) on some body surface temperatures of feedlot heifers during the fattening period	74
5	Figure 3. Interaction genotype (E and Z) x time of day (AM and PM) for some body surface (head, neck, loin, shoulder, and belly) temperatures of feedlot heifers during the fattening period.....	75

RESUMEN

Efecto de la sombra en la fisiología y respuesta productiva de vaquillas finalizadas en clima cálido

José Antonio Aguilar Quiñonez

El objetivo fue evaluar el efecto de área de sombra por animal en concentraciones hematológicas, bioquímicas fisiológicas y productivas de vaquillas de engorda cebú y europeas bajo estrés calórico. Un total de 510 vaquillas cebú, europeas y sus cruizas se asignaron aleatoriamente a seis corrales divididos en dos tratamientos: T1) tres corrales con 100 vaquillas por corral (2.7 m²/animal de sombra), y T2) tres corrales con 70 vaquillas por corral (3.7 m²/animal de sombra). Se obtuvieron tres muestras de sangre en 15 animales por genotipo y por corral tres veces (días 1, 28 y 66 del estudio). Para estimar metabolitos, electrolitos y hormonas tiroideas se utilizó suero sanguíneo, mientras que para componentes hematológicos sangre fresca. Los datos se analizaron mediante arreglo factorial 2x2 en un diseño completamente al azar, para la fisiología y comportamiento productivo, se tomó frecuencia respiratoria (FR) y temperatura de la superficie corporal (cabeza, cuello, lomo, paleta, grupa, panza, ojo y morro) en 30 vaquillas por tratamiento (10/corral). También se registró el consumo de alimento por corral cada semana y las vaquillas se pesaron los días 1, 26 y 66 del estudio. Los datos para variables fisiológicas se analizaron mediante un arreglo factorial 2x3 los factores fueron área de sombra (T1, T2) genotipo (E, Z) y hora del día (AM PM). Mientras que comportamiento productivo se analizó mediante un diseño completamente al azar con submuestreo considerando el corral anidado a la sombra. El índice temperatura-humedad (ITH) promedió 81.7 unidades. En T1, los dos genotipos tuvieron similar (P<0.05) concentración de glucosa, pero en T2 glucosa fue más alto (P<0.05) en cebú. La urea fue menor (P<0.05) en T2 que T1. El Na⁺ en T1 fue mayor (P <0.05) que en T2, pero Cl⁻ fue menor en T1 (P <0.05) que en T2. La triiodotironina (T₃) fue menor en T1 (P <0.05) que en T2. Hematocrito (Htc) y hemoglobina (Hb) fueron similares entre genotipos dentro de T1 (P<0.05), pero en T2 las cebú tuvieron mayor (P<0.05) Htc y Hb que europeas. Los niveles hematológicos y bioquímicos de vaquillas de engorda no presentaron diferencias (P<0.05) importantes por efecto de área de sombra por animal o genotipo durante el verano. Mientras que, el ganado europeo tuvo mayor (P<0.05) FR que ganado cebú. En ambas áreas de sombra, el ganado europeo presentó mayor (P<0.05) FR que ganado cebú. Por la tarde, la temperatura de cabeza, cuello, lomo, paleta y panza fueron mayores (P<0.05) en T1 comparadas con T2. El área de mayor sombra (T2) mejoró (P<0.05) la ganancia diaria de peso, la ganancia de peso total, la conversión y eficiencia alimenticia comparada con la de menor sombra (T1), sin afectar el consumo de alimento. Se concluye que el área de mayor sombra (3.7 m²/animal) mejoró la temperatura corporal y fue más efectiva para el desempeño productivo de vaquillas en engorda intensiva bajo condiciones de estrés calórico.

Palabras claves: *vaquillas, electrolitos, hematología, sombra, Frecuencia respiratoria, temperatura de la superficie corporal.*

ABSTRACT

Effect of shadow on physiology and response production of heifers finished in warm weather

José Antonio Aguilar Quiñonez

The objective was to evaluate the effect of shaded area in every animal on hematological, physiological, biochemical and productive concentrations of Zebu and European heifers under heat stress. A total of 510 Zebu and European heifers and their crossbreed were randomly assigned to six pens divided into two treatments: T1) three pens with 100 heifers per pen (2.7 m² / shaded animal), and T2) three pens with 70 heifers per pen (3.7 m² / shaded animal). Three blood samples were obtained from 15 animals per genotype and per pen three times (days 1, 28 and 66 of the study). Blood serum was used to estimate metabolites, electrolytes and thyroid hormones, while fresh blood was used for hematological components. The data were analyzed using a 2x2 factorial arrangement in a completely randomized design, for the physiology and productive behavior, respiratory rate (RR) and body surface temperature (head, neck, loin, paddle, rump, belly, eye and nose) were taken from 30 heifers per treatment (10 / pen). Feed intake of every pen was recorded weekly and heifers were weighed on days 1, 26 and 66 of the study. The data for physiological variables were analyzed using a 2x3 factorial arrangement, the factors were shaded areas (T1, T2), genotype (E, Z) and time of the day (AM, PM). While productive behavior was through a completely randomized design with subsampling considering the pen nested in the shade. The heat index (HI) was 81.7 units. In T1, the two genotypes had similar ($P < 0.05$) glucose concentration, but in T2 glucose was higher ($P < 0.05$) in Zebu cattle. Urea was lower ($P < 0.05$) in T2 than T1. Na⁺ in T1 was higher ($P < 0.05$) than T2, but Cl⁻ was lower in T1 ($P < 0.05$) than T2. Triiodothyronine (T3) was lower in T1 ($P < 0.05$) than T2. Hematocrit (Htc) and hemoglobin (Hb) were similar between genotypes within T1 ($P < 0.05$), but T2 Zebu cattle had higher ($P < 0.05$) Htc and Hb than Europeans. The hematological and biochemical levels of heifers did not show important differences due to the effect of shaded area per animal or genotype during summer. Whereas, European cattle had higher ($P < 0.05$) RR than Zebu cattle. In both shaded areas, European cattle presented higher ($P < 0.05$) RR than Zebu cattle. In the afternoon, the temperature of the head, neck, loin, paddle and belly were higher ($P < 0.05$) in T1 compared to T2. The treatment with the greatest shade (T2) improved ($P < 0.05$) the daily weight gain, the total weight gained, the feed conversion ratio and feed efficiency compared to the one with the lowest shade (T1), without affecting feed intake. It is concluded that T2 (3.7 m² / animal) improved body temperature and was more effective for the heifer growth performance in intensive feedlots under heat stress conditions.

Key words: *heifers, electrolytes, hematology, shade, respiratory rate, body surface temperature.*

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años nuestro planeta ha experimentado una tendencia de aumento en la temperatura ambiente como consecuencia del cambio climático, aumento que puede repercutir significativamente en la productividad del sector agropecuario (Conte *et al.*, 2018). Las principales explotaciones de ganado bovino de engorda en México se localizan en zonas áridas y semiáridas del norte del país, donde la producción de insumos hace más fácil y rentable esta actividad, sin embargo, en estas regiones durante la época estival del año se presentan condiciones ambientales de altas temperaturas (Avendaño-Reyes *et al.*, 2013). Estas condiciones provocan en el animal alteraciones fisiológicas que provocan una condición fisiopatológica conocida como estrés calórico (EC), la cual se presenta cuando ocurren cargas excesivas de calor, baja velocidad de viento, alta radiación solar y mediana humedad relativa (Avendaño *et al.*, 2011). Esto provoca que el índice de temperatura - humedad (ITH) aumente por encima de la zona termo-neutral, alterando de manera directa la habilidad de mantener el balance térmico, afectando directamente el rendimiento y el bienestar animal, sobre todo bajo sistemas de producción en confinamiento (Beatty *et al.*, 2006; Mader *et al.*, 2006). Sin embargo, la respuesta al EC es compleja debido a que intervienen diversos factores como edad, genotipo, condición corporal, color de pelo y piel, y estatus sanitario, los cuales ejercen influencia de distinta magnitud sobre el animal. No obstante, el bovino presenta diferentes respuestas mediante la modificación de distintos procesos fisiológicos y de conducta para hacer frente y reducir la carga calórica, como son cambios en parámetros hematológicos y bioquímicos, síntesis y secreción de hormonas (Silanikove, 2000), aumento en la frecuencia respiratoria, consumo de agua, así como redistribución sanguínea hacia la periferia del cuerpo (Gaughan *et al.*, 2010). Sin embargo, el efecto de mayor importancia que se presenta en estos sistemas de producción es la disminución en el consumo de alimento, que se traduce en una menor respuesta productiva (Mader *et al.*, 2006; Mitlöhner *et al.*, 2002). Por esto, el conocimiento y uso de estrategias de manejo ambiental es importante para mitigar la carga calórica y, por ende, mejorar el bienestar animal y el

desempeño productivo (Sparke *et al.*, 2001). Dentro de estas estrategias se encuentran la manipulación nutricional en la dieta, cambios en frecuencia y hora de alimentación, así como la manipulación ambiental mediante el uso de sombras. Esta última se considera un tipo de manejo básico en sistemas de producción localizados en zonas donde se presentan altas temperaturas. Es importante mencionar que la función de la sombra es reducir la influencia de la radiación solar y la carga calórica sobre los animales (Eigenberg *et al.*, 2005). Sin embargo, la determinación del espacio o área de sombra por animal en sistemas de producción intensivo se ha propuesto como una estrategia aún no definida de manera concluyente. Diversos autores han evaluado diferentes áreas de sombra, como Aengwanich *et al.* (2011), quienes evaluaron el efecto de proporcionar sombra artificial y sombra natural contra ausencia de sombra, mediante la comparación de parámetros fisiológicos usando ganado Brahman. Los animales sin sombra presentaron mayor frecuencia respiratoria, tasa de sudoración y relación neutrófilos/linfocitos que animales con sombra. A su vez, Sullivan *et al.* (2011) evaluaron diferentes áreas de sombra (0, 2, 3.3 y 4.7 m²/animal) en corral usando ganado Angus, encontrando que, aunque solamente el hecho de proveer sombra mejoró el bienestar y productividad de los animales, un área mayor a 2 m²/animal no ofreció ventajas productivas. Dichos resultados comprueban que el proveer sombra mejora de manera significativa el bienestar de los animales, sobre todo en zonas cálidas donde su explotación es intensiva. Sin embargo, el conocimiento del área de sombra por animal que optimice el bienestar y el desempeño en corral es un aspecto que aún no está totalmente determinado. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue comparar el efecto de proporcionar dos áreas de sombra por corral (2.7 y 3.7 m²/animal) sobre la respuesta fisiológica y productiva de vaquillas engordadas bajo condiciones de estrés calórico.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERA

2.1. Cambio climático y ganado de engorda en corral

A nivel mundial se ha informado que durante el último siglo ha existido una tendencia de aumento promedio en la temperatura ambiental de 0.74°C (IPCC, 2007). Se pronostica que este aumento en las temperaturas seguirá en constante crecimiento, y se proyectan mayores temperaturas en el ambiente circundante, lo que afectará de manera directa a los distintos sistemas agropecuarios, especialmente aquellos ubicados en regiones con trópico húmedo y en zonas áridas. La presencia de altas temperaturas en el ambiente afecta el intercambio de calor que existe entre el animal y el medio ambiente circundante (Mader *et al.*, 2010); esta condición ocurre cuando existen cargas excesivas de calor en el animal afectando su equilibrio térmico, teniendo que recurrir ajustes fisiológicos, metabólicos y conductuales para reducir la carga calórica (Silanikove, 2000; Mader, 2002). Yousef (1985) describe que la zona de confort térmico para el bovino se muestra entre 4 y 27°C de temperatura ambiental, sin embargo, esta zona termoneutral varía según el genotipo del bovino, siendo el ganado *Bos indicus* más resistente a las altas temperaturas (hasta 27°C) que en *Bos taurus* (25°C; Navas, 2010). Estos rangos de temperaturas permiten al animal no realizar ningún esfuerzo físico o fisiológico para mantener su temperatura corporal. No obstante, con el aumento de la temperatura ambiente, el animal empieza a experimentar signos de EC.

Existen factores ambientales que interaccionan entre sí para influir sobre la presencia de EC como son: temperatura ambiente, velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar directa o indirecta. Los animales se consideran homotermos por la capacidad que tienen para regular su temperatura respecto a la del medio ambiente a través de procesos fisiológicos (Silanikove, 2000). Sin embargo, para que los animales puedan mantener homeostasis se requiere un ambiente de confort libre de esfuerzos para mantener su temperatura normal. No obstante, cuando la temperatura sobrepasa los valores de neutralidad los bovinos hacen uso de su

homeoiresis para mantener su temperatura interna normal, de tal manera que durante el EC se manifiestan procesos fisiológicos de termorregulación para disipar la carga excesiva de calor mediante mecanismos dependientes de la humedad relativa y la temperatura circundante en el ambiente, los cuales pueden ser evaporativos: sudoración, jadeo, saliva y no evaporativos: conducción, convección y radiación (Beatty *et al.*, 2006; Collier *et al.*, 2006).

Existen otros factores importantes que influyen sobre el EC como prácticas de manejo, factores propios del animal y nutricionales. Dentro de prácticas de manejo se incluyen la falta de capacitación de personal a cargo, instalaciones adecuadas, cuidado de animales e insumos disponibles (Arias y Mader, 2011). No obstante, la respuesta al EC en el animal depende en cierta medida al estado fisiológico en el que se encuentre, así como de su genética, edad, peso, color de pelaje, adaptación al ambiente, conducta y peso (Mader y Davis, 2004; Nienaber y Hahn, 2007). Sin embargo, uno de los factores más importantes es la nutrición, sobre todo en explotaciones intensivas donde las dietas contribuyen gran parte de su composición en energía, principalmente en etapa de finalización, donde se espera que esta sea utilizada para la producción, el crecimiento y actividad física bajo condición termoneutral. No obstante, cuando las temperaturas sobrepasan la zona de confort en el animal, se produce un desequilibrio térmico donde la energía proporcionada es redistribuida, en mayor parte, para mantener un estado de homeotermia mediante la utilización de procesos fisiológicos tales como: vasodilatación periférica y evaporación de líquidos corporales (Collin *et al.*, 2001). Por tanto, en periodos de temperatura ambiente elevada, se presentan cambios fisiológicos, de comportamiento y en mayor importancia nutricionales disminuyendo el consumo de materia seca y aumentando el consumo de agua como mecanismos termoregulatorios para disminuir la carga calórica, sin embargo, el aumento en la frecuencia respiratoria y redistribución sanguínea hacia la periferia del cuerpo requiere de un gasto extra de energía para mantener su homeostasis (Mader *et al.*, 2006). Este acontecimiento representa pérdidas económicas en la producción, ya que afecta en mayor parte al bovino en etapa de finalización, debido a que son más susceptibles por su condición corporal (Bernabucci *et al.*, 2010). St-Pierre *et al.*

(2003) mencionan que las pérdidas económicas por el efecto del EC son variadas y van de poco o ningún efecto (aumento en la temperatura rectal y frecuencia respiratoria), disminución en la productividad (disminución en el consumo de alimento, ganancia diaria de peso, conversión alimenticia), disminución en calidad de la carne (carne con tonalidad oscura) y pérdidas por muerte durante extremo calor prolongado, originándose pérdidas económicas de millones de dólares en ingresos para la industria ganadera por la mortandad del ganado. Por ejemplo, se ha estimado una pérdida hasta de \$5,000 dólares por animal que muere bajo condiciones de EC en Estados Unidos.

2.2. Estrés calórico y variables fisiológicas en ganado de engorda en corral

El EC hace que el bovino presente diferentes respuestas mediante la modificación de distintos procesos fisiológicos para reducir la carga calórica como son aumento en la frecuencia respiratoria, en temperatura corporal y en consumo de agua, (Gaughan *et al.*, 2010). Sin embargo, estos efectos fisiológicos desencadenan un efecto importante en la engorda que es la disminución en el consumo de alimento.

2.2.1. Frecuencia respiratoria e índice de jadeo

Una de las principales constantes fisiológicas en el bovino es la frecuencia respiratoria (FR), que se considera un proceso vital en el que se absorbe oxígeno del medio ambiente y se expulsa dióxido de carbono. Este proceso se da por las fases de inspiración y expiración. Sin embargo, estas fases se ven afectadas cuando el bovino es expuesto a altas temperaturas o agitación, lo que produce desviaciones en la frecuencia respiratoria, respiraciones rápidas y superficiales, como también respiraciones lentas y profundas; esto, en relación a utilizar un proceso de intercambio gaseoso entre el animal y el medio ambiente. Cain *et al.* (2006) mencionan que el tracto respiratorio funciona como termorregulador, esto 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, por lo que la conducta en el animal se ve comprometida, aumentando la frecuencia respiratoria para hacer más eficiente el movimiento del aire por el tracto respiratorio.

Bajo condiciones de termoneutralidad el bovino presenta FR de 20 a 60 respiraciones por minuto (rpm), no obstante, bajo condiciones de enfermedad, actividad física y alteraciones ambientales suelen presentar aumentos considerables (Brown-Brandl *et al.*, 2005). Hahn (1999) menciona que el aumento de la FR es uno de los principales mecanismos termorregulador en el animal, aumentando la pérdida de calor por vía respiratoria para mantener un mejor balance térmico. Bajo este planteamiento se tiene a la frecuencia respiratoria como uno de los principales e importantes indicadores de EC en ganado bovino, lo que la convierte en una valiosa técnica no invasiva para considerar la condición en la que se encuentra el animal, midiendo contablemente los ciclos de inhalación y exhalación por la expansión torácico abdominal (Mader *et al.*, 2006). No obstante, bajo condiciones de extremas temperaturas, la FR no resulta ser un mecanismo muy eficiente para disipar la carga calórica obtenida, existiendo la posibilidad de que movimiento utilizado por el jadeo provoque un aumento extra en la producción de calor por el mismo animal, lo que se traduce en respiraciones más lentas y profundas (Silanikove, 2000).

Este aumento en la FR puede ser perjudicial para los animales debido a que existe una hiperventilación alveolar, aumento la pérdida de CO₂, incremento del pH sanguíneo e induciendo a una alcalosis respiratoria (Cain *et al.*, 2006). Además, el jadeo es un proceso que requiere actividad muscular, lo que causa un gasto de energía extra porque incrementa la demanda en los requerimientos de mantenimiento, aproximadamente en 7% (NRC, 1981). Un método alternativo a la medición de 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).

3.1.1.1 Temperatura corporal

Dentro de los principales mecanismos termorreguladores en ganado bovino de engorda se encuentra el aumento en la redistribución sanguínea a la periferia que por consecuencia aumenta la temperatura corporal. El bovino, al ser un organismo homeotermo, mantiene su temperatura corporal interna de manera independiente a las temperaturas circundantes en el ambiente (Silanikove, 2000). Para regular la temperatura y contrarrestar los efectos de la temperatura ambiente, el animal posee receptores localizados en la piel, sistema nervioso central y órganos que son encargados de transmitir señales al cerebro, y a su vez activando mecanismos fisiológicos y bioquímicos para efficientizar la pérdida de calor, entre ellos se encuentran: vasodilatación periférica y evaporación de líquidos corporales (Thompson, 1973; Cunningham, 2014). Sin embargo, también existen respuestas hormonales bajo esta situación asociadas a la movilización de agua por exudación y electrolitos corporales por medios evaporativos. Estas respuestas fisiológicas son controladas por la glándula adrenal “corteza y medula” para mantener la homeostasis. Un ejemplo de esto es la aldosterona, conocida como un corticoide mineral que ejerce una función de equilibrio electrolítico, incrementando la reabsorción de agua, sodio y la excreción de potasio (Silanikove, 2000).

Otra hormona es la vasopresina, producida en la medula adrenal y cuya función es la retención e incremento del consumo de agua en los animales en función de las pérdidas provocadas por la sudoración y el jadeo. La relación que existe con el aumento de la vasopresina en la disminución que ocurre en aldosterona es cuando el bovino se encuentra bajo condiciones de EC, debido a que los medios evaporativos son la ruta más eficiente para disipar la carga calórica cuando la temperatura ambiente sobrepasa la temperatura corporal (Bernabucci *et al.*, 2010).

No obstante, existen otro tipo de factores físicos en el animal determinantes para el proceso de disipación de calor en relación con la función termorreguladora,

entre ellos se tiene: grosor de la piel, número de glándulas sudoríparas, color de pelo, piel, tamaño y abundancia de pelaje (Beatty *et al.*, 2006). Estos factores varían entre razas cebuinas y europeas, ya que la cebuina tiene mayor capacidad termoregulatoria en respuesta al EC por su mayor densidad arteria-venosa, mayor tamaño de las glándulas sudoríparas, mayor pérdida de calor por medios de convección conducción y una menor absorción de radiación solar por presentar pelo corto y colores claros en la capa del pelo que poseen (Hansen, 2004).

La relación entre sí de factores ambientales como altas unidades de humedad relativa, altas temperaturas y baja velocidad del viento presentan un problema en climas calurosos para la pérdida de calor en los bovinos, pues reducen la capacidad de disipación de calor a través de medios evaporativos y no evaporativos, 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).

2.2.3. Consumo de alimento

Uno de los principales efectos del EC en el ganado bovino de engorda es la reducción en el consumo de alimento, que ocasiona pérdidas considerables en la industria de la carne. El bovino en engorda, debido a su elevada tasa metabólica, es de los rumiantes más sensibles al EC (Mitlöhner *et al.*, 2002). Sin embargo, la alimentación en los animales es necesaria para cubrir con los requerimientos de energía necesaria para cumplir con funciones de vital importancia como síntesis de enzimas, hormonas, trabajo mecánico y químico. 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. Por lo tanto, el efecto de mayor importancia bajo los sistemas de producción intensiva es la disminución en el consumo de alimento, lo que se traduce en menores respuesta productiva (Mitlöhner *et al.*, 2002; Mader *et al.*, 2006; Arias *et al.*, 2008).

No obstante, existen ajustes en la glándula tiroides que provocan alteraciones para regular la temperatura de manera secuencial en el organismo por medio de sensores térmicos del eje hipotálamo – hipófisis – tiroides (Silanikove, 2000). Por tanto, cuando aumenta la temperatura corporal, se activan factores que inhiben la

tirosina en la hipófisis anterior, lo que reduce la hormona estimuladora de la tiroides, mediante la cual se promueven la síntesis y secreción de las hormonas tiroideas tiroxina (T_4) y triyodotironina (T_3), que influye en diferentes procesos celulares como la termogénesis, de tal manera que la disminución en sus concentraciones por la presencia de altas temperaturas puede causar reducción en la tasa metabólica por la reducción de la motilidad del tracto digestivo, ocasionando una menor tasa de pasaje y, por ende, una menor producción de calor. Por lo tanto, la disminución en el consumo de alimento afecta negativamente el bienestar y la productividad de los animales (Beede y Collier, 1986; Correa-Calderón *et al.*, 2007).

2.3. Estrés calórico y parámetros bioquímicos en sangre

Los sistemas de producción intensivos y bajo condiciones ambientales que sobre pasan la zona de confort térmico predisponen a los animales a condiciones de estrés calórico (Avendaño-Reyes *et al.*, 2011) por superar su capacidad del límite de confort y termorregulación. Dicho efecto induce a una serie de respuestas sistemáticas coordinadas por los sistemas nervioso, endocrino e inmunológico, que a su vez promueven modificaciones metabólicas, hematológicas (Silva, 2006) y electrolíticas (Silanikove, 2000). Estos cambios en componentes sanguíneos pueden ser indicadores inequívocos de trastornos metabólicos, desequilibrios homeostáticos y en general de salud animal.

2.3.1. Metabolitos

El análisis y cuantificación del perfil metabólico en sangre puede ser un estudio eficaz para determinar la capacidad de adaptación (Campos *et al.*, 2004) o falta de la misma (Vicente-Pérez *et al.*, 2018) en los animales ante un insulto térmico. Sin embargo, las concentraciones de metabolitos sanguíneos pueden ser afectados por factores como la raza, edad, estado fisiológico, alimentación y condiciones climáticas (Kaneko *et al.*, 2008). En este sentido se ha observado que los cambios en concentraciones de algunos analitos sanguíneos están estrechamente relacionados con la normotermia bajo condiciones de altas temperaturas ambientales (Vicente-

Pérez *et al.*, 2020). Inclusive, bajo modificaciones moderadas en las condiciones ambientales puede condicionar las concentraciones bioquímicas del organismo animal (Angel *et al.*, 2018).

En este sentido, se ha observado que las concentraciones de glucosa plasmática bajo condiciones de EC se ven disminuidos (Ribeiro, 2013), sin embargo, el grado en que disminuye es dependiente de la gravedad y duración del estrés por calor (Slimen *et al.*, 2016). La disminución en su concentración sérica de este metabolito está ampliamente relacionada con el incremento en la utilización de la glucosa como fuente de energía que tienen los músculos del tracto respiratorio con el aumento en la FR como una respuesta para disminuir el calor acumulado (Rasooli *et al.*, 2004; Vicente-Pérez *et al.*, 2018). Otro factor que predetermina las concentraciones de glucosa podría ser el aumento en los niveles séricos de insulina, dado que la insulina favorece a una mayor inserción de glucosa a las células, lo que promueve una menor circulación sanguínea del metabolito (Baumgard y Rhoads, 2013). Este efecto en la glucosa ha sido confirmado por Kamal *et al.* (2016), al experimentar distintos materiales de sombras para mitigar el estrés por calor. Los autores reportaron menor concentración de glucosa plasmática en los alojamientos con mayor TA, HR e ITH en relación al alojamiento en mejor condición ambiental. Los resultados los atribuyeron a que los terneros que se encontraban en condiciones de mayor confort térmico tuvieron mayor tiempo de consumo de alimento y consecuentemente menor movilización de reservas energéticas. Resultados similares fueron observados por Vijayakumar *et al.* (2011), quienes reportaron menor concentración de glucosa sanguínea en novillas búfalo sin enfriamiento en relación a las novillas tratadas con aspersores y ventiladores para reducción de estrés por calor en épocas de calor.

Los triglicéridos y el colesterol son dos grupos de lípidos importantes que se encuentran en el plasma sanguíneo, bajo condiciones de estrés calórico extremo el metabolismo lipídico es activado como un mecanismo alternativo para compensar la disponibilidad de glucosa en condiciones de hipertermia crónica (Macías-Cruz *et al.*, 2018). En este sentido se ha observado que en condiciones de temperaturas elevadas puede existir un aumento de lipólisis y, consecuentemente, incremento en

los niveles de triglicéridos y colesterol (Mundim *et al.*, 2007). También se ha descrito que las concentraciones séricas de colesterol pueden disminuir por una dilución del mismo por el incremento del consumo de agua, o por una baja concentración de acetato, principal precursor del colesterol (Marai y Haeeb, 2010).

El conocimiento de las concentraciones de proteína total en el plasma sanguíneo de los animales es muy importante, porque sirven como indicador indirecto del estado nutricional del animal (Doornenbal *et al.*, 1988), dado que el contenido plasmático de este metabolito es un indicador del metabolismo del nitrógeno en el organismo y es dependiente de la calidad del forraje y materia utilizada en la dieta a ofrecer (Alberghina *et al.*, 2013) y época del año (Koubkova *et al.*, 2002). Las concentraciones de proteína total sufren incrementos significativos durante las épocas de calor, sin embargo, se reducen gradualmente como consecuencia del incremento de gluconeogénesis (Koubkova *et al.*, 2002). Sin embargo, Kamal *et al.* (2016) no encontraron diferencias significativas en las concentraciones de PT al realizar un experimento con distintos materiales de sombras para contrarrestar los efectos de estrés calórico en terneros.

2.3.2. Electrolitos

La homeostasis celular es muy importante en la vida y salud del animal, sin embargo, para que esto suceda tiene que existir un equilibrio en los líquidos corporales por medio del transporte de agua y electrolitos sanguíneos. Los electrolitos Sodio (Na), Potasio (K) y Cloro (Cl) se encuentran distribuidos en los tejidos corporales y son muy importantes para en el mantenimiento del equilibrio ácido-base del organismo (Samanc *et al.*, 2011; Stephenson, 2014). Sin embargo, las concentraciones pueden ser alteradas por factores medio ambientales. La disminución en el consumo de alimento y el incremento en el consumo de agua son otras medidas adaptativas que los rumiantes adoptan cuando se encuentran bajo condiciones de estrés calórico, no obstante, las mismas condiciones de calor ocasionan pérdidas de agua que pueden conducir deshidratación y pérdida de electrolitos sanguíneos (Beede y Collier, 1986).

La disminución en la concentración de Na plasmático durante EC puede ser ocasionado por el aumento en la excreción urinaria de este mineral como consecuencia del aumento en la diuresis total (Nouty *et al.*, 1980). La vasodilatación y la redistribución del flujo sanguíneo hacia la periferia para incrementar la sensibilidad de la piel y promover pérdida de calor por radiación y sudoración podrían ser otras causas en la pérdida de Na plasmático (Silva *et al.*, 2017; Beatty *et al.*, 2014). Por otra parte, las bajas concentraciones de aldosterona sanguínea en época de calor podría ser otra causa del aumento de la excreción urinaria de Na plasmática (Beatty *et al.*, 2014). Por lo tanto, bajo condiciones de altas temperaturas, los rumiantes activan el sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA) cuando existe pérdida de volumen sanguíneo, caída de la presión sanguínea, aumento en la osmolaridad del plasma y deshidratación severa (Muñoz *et al.*, 2016; Sejian *et al.*, 2018).

El SRAA tendrá importancia en la regulación del equilibrio hidroelectrolítico, el volumen del espacio extracelular y la presión arterial (Cunningham, 2014). La activación ocurre por la estimulación de glucocorticoides a través de una serie de eventos, las cuales consisten en la liberación de renina que actúa sobre el angiotensinógeno hepático, el cual lo convierte en angiotensina 1 (no activa); posteriormente, dentro de los pulmones es activada y convertida en angiotensina II (Ang II). Una vez activada la Ang II se une a su receptor y estimula la vasoconstricción, que estimula la producción de aldosterona en la glándula suprarrenal (Guyton y Hall, 2006; Cunningham, 2014), que a su vez estimula a la glándula pituitaria para liberar vasopresina. Una vez liberada la vasopresina, éste actúa a nivel de los túbulos de los riñones donde permitirá la reabsorción de agua y Ca, mientras que la aldosterona a nivel de riñón favorecerá la reabsorción de H₂O, Na y Cl, pero con un incremento en la excreción de K (Negase, 2010; Kaliber *et al.*, 2016).

Este efecto fue comprobado por Jenkinson y Mabon (1973), quienes encontraron una mayor pérdida de K en relación al Na y Cl cuando los bovinos fueron sometidos a condiciones de altas temperaturas ambientales. Por su parte, Beatty *et al.* (2014) reportaron disminución de K sin afectar las concentraciones

sanguíneas de Na y Cl en ganado *Bos indicus* y *Bos taurus* sometido a estrés calórico. Sin embargo, Scharft *et al.* (2014) no encontraron diferencias en las concentraciones de Na y K, cuando evaluaron la capacidad de termorregulación de dos razas de ganado *Bos taurus*, mediante el sometimiento a condiciones de altas temperaturas ambientales durante 14 días. Por otra parte, en ovinos, Macías-Cruz *et al.* (2015) encontraron que bajo condiciones de estrés calórico se presentó una disminución en K y Cl, sin afectar las concentraciones de Na plasmático.

2.3.3. Hormonas

Bajo condiciones de EC los animales muestran cambios fisiológicos, metabólicos y hormonales como medidas de adaptación al ambiente, y gran parte de dichas modificaciones están reguladas a nivel neuroendocrino (Matteri *et al.*, 2000; Khazanehei *et al.*, 2015). Dentro de los ajustes fisiológicos se encuentran la reducción del consumo de alimento e incremento en el consumo de agua (Nguyen *et al.*, 2016). Sin embargo, el incremento en la temperatura ambiental y la disminución en el consumo de alimento, son dos factores predisponentes que determinan la actividad tiroidea en los rumiantes (Saber *et al.*, 2009). En este sentido, se ha encontrado que bajo condiciones de EC las concentraciones sanguíneas de hormonas tiroideas (T3 y T4) se reducen como mecanismo para disminuir el calor metabólico (Cain *et al.*, 2006). El funcionamiento adecuado de la producción de hormonas tiroideas es esencial para el mantenimiento en la productividad animal, debido a que estas hormonas tienen un papel importante en el metabolismo energético y proteico (Aleena *et al.*, 2016), por lo tanto, los cambios en las concentraciones de esta hormona en condiciones de altas temperaturas ambientales puede ser un indicador de adaptación al ambiente (Ribeiro *et al.*, 2018a), del estado nutricional y de salud de los animales (Aleena *et al.*, 2016).

Algunos estudios han probado que la actividad metabólica en bovinos disminuye cuando la temperatura ambiental es más elevada. Correa-Calderón *et al.* (2007) en un experimento realizado en época de calor reportaron menor concentración de la hormona T3 en novillos engordados en corrales con sombra, en relación a los novillos engordados en corrales con sombra y enfriamiento. Otro

experimento realizado por Pereira *et al.*, (2008) con el objetivo de evaluar la tolerancia al calor de cuatro razas de ganado bovino (Alentejana, Mertolenga, Frisian y Limousine), mediante simulación en cámaras termográficas, encontraron que independientemente de la raza del ganado, las concentraciones de hormonas tiroideas tuvieron una disminución constante en los escenarios con mayor estado de EC. Resultados similares fueron reportados por Rasooli *et al.*, (2004) en vaquillas Holstein no preñadas, donde observaron que durante la época de verano las concentraciones de T3 y T4 fueron menores en relación la época de invierno.

2.3.4 Hematología

La evaluación del perfil hematológico en rumiantes es un examen importante para determinar el estado de salud fisiológico del animal (George *et al.*, 2010; Attia, 2016). No obstante, diversos factores como la especie, el estado fisiológico, la edad, la nutrición, el estado de salud y estación del año pueden comprometer los patrones hematológicos (Feldman *et al.*, 2002; Bhan *et al.*, 2012; Ángel *et al.*, 2018). Algunos estudios han demostrado que el cambio morfológico y cuantitativo de las células sanguíneas en rumiantes pueden considerarse como signos inequívocos de EC (Feldman *et al.*, 2002; Parmar *et al.*, 2013; Ribeiro *et al.*, 2014; Ángel *et al.*, 2018; Ribeiro *et al.*, 2018b).

Bajo este contexto, Mazzullo *et al.* (2014) mencionan que el EC en bovinos promueve una disminución significativa en las concentraciones de glóbulos rojos (RBC) y el recuento de hemoglobina (Hb) pueden estar asociada a su capacidad de adaptación. Por su parte, Marai y Haebe, (2010) mencionaron que la disminución en la concentración de hematocrito (Hct) está ampliamente relacionada con la hemodilución como consecuencia del alto contenido de agua en el sistema circulatorio para disipar el calor. También se ha observado que los rumiantes disminuyen el consumo de alimento en condiciones de EC como una medida de adaptación para contrarrestar el calor acumulado. Sin embargo, esta reducción en el consumo los conduce a una desnutrición a largo plazo, lo que ocasiona una reducción en cantidad de eritrocitos y concentración de Hb, provocando a una

disminución en las concentraciones de glóbulos rojos (RBC) en el torrente sanguíneo (Nunes *et al.*, 2002; Swenson y Reece, 2006; Ribeiro *et al.*, 2018a).

Por otra parte, otros autores han encontrado que las concentraciones de RBC son incrementadas por las altas temperaturas ambientales (Swenson y Reece, 1996; Olkowski *et al.*, 2005; Cardoso *et al.*, 2015; Ribeiro *et al.*, 2018; Vicente-Pérez *et al.*, 2018). En este sentido se ha descrito que bajo condiciones de EC existe un aumento en la demanda de oxígeno al poner en marcha al máximo y en forma continua los mecanismos fisiológicos de termorregulación bajo esta forma de estrés. No obstante, este incremento en la demanda de oxígeno promueve aumento en las concentraciones Hb y hematocrito (Olkowski *et al.*, 2005; Ribeiro *et al.*, 2018). Por su parte, Cardoso *et al.* (2015) en ganado cebú bajo condiciones altas temperaturas, encontraron que la mayoría de los parámetros hematológicos se vieron afectados por el medio ambiente, encontrándose mayores concentraciones durante la exposición de los bovinos a estrés calórico. Estos resultados se pudieron haber dado por un efecto de hemoconcentración, como resultado a la deshidratación al ser sometidos a altas temperaturas ambientales (Cardoso *et al.*, 2015; Vicente-Pérez *et al.*, 2018). Del mismo modo, Ferreira *et al.* (2009) encontraron mayor concentración de eritrocitos, Hb y hematocrito en bovinos durante la época de verano, en relación a la época de invierno. Los autores atribuyeron los resultados a que los bovinos activaron mecanismos de termorregulación y por pérdida de líquido extracelular por deshidratación.

En otro estudio realizado por Al-Saeed *et al.* (2009) en dos estaciones del año (invierno y verano), encontraron que durante el verano el ganado bovino mostraba significativamente mayor concentración de hemoglobina, concentración corpuscular media de hemoglobina, concentración media de hemoglobina y glóbulos blancos, pero menor concentración de VCM que en invierno, mientras que las concentraciones de glóbulos rojos y hematocrito fueron similares en ambas estaciones. Algunos otros Cardoso *et al.*, 2015; Ribeiro *et al.*, 2018 han relacionaron al EC con una mayor liberación de catecolaminas (epinefrina y norepinefrina), que promueve el incremento en la presión arterial y contracción del bazo, lo que conlleva

a la movilización de glóbulos rojos (hematocrito y hemoglobina) hacia el torrente sanguíneo (Swenson y Reece, 1996; Cardoso *et al.*, 2015).

2.4. Estrés calórico y la productividad de ganado de engorda en corral

2.4.1. Efecto del genotipo del animal

La adaptabilidad que existe en los bovinos *Bos indicus* y *Bos taurus* a temperaturas extremas varía según las subespecies que han evolucionado en climas distintos (Hansen, 2004). Es decir, el ganado *Bos indicus*, por ser de origen tropical, adquirió genes termotolerantes durante su evolución en ambientes cálidos, mejorando su adaptación a las altas temperaturas (Cardoso *et al.*, 2015). Un ejemplo es la menor tasa de respiración y temperatura rectal que exhiben a diferencia de ganado *Bos taurus* bajo condiciones de estrés calórico similares (Gaughan *et al.*, 1999). Sin embargo, la adaptabilidad que tienen los bovinos a altas o bajas temperaturas depende de la interacción que existe entre distintos factores fisiológicos y anatómicos. Generalmente la mayor pérdida de calor en el bovino es mediante la conducción y convección. No obstante, estos mecanismos termoregulatorios dependen de la capacidad que existe entre el núcleo del cuerpo hacia la periferia de la piel y el viento. Por lo tanto, la tasa de sudoración, producción de calor interno, propiedades de pelo y piel son factores importantes que influyen en la pérdida o ganancia de calor acumulado en el cuerpo (Hansen, 2004). En este sentido, animales con mejores propiedades fisiológicas y anatómicas tendrán mejor adaptación a condiciones de estrés por calor. Diversos estudios indican que la tasa metabólica en ganado *Bos taurus* es superior a *Bos indicus* lo que se traduce en menor producción de calor metabólico y más adaptación a condiciones de bajas temperaturas Hansen, 2004). Sin embargo, no solo depende de la producción de calor del mismo animal, sino también de la capacidad que se tiene para perder el calor acumulado mediante diversos mecanismos termoregulatorios. Otro aspecto anatómico son las diferentes propiedades de la piel en el animal hacen que pueda adaptarse mejor a las condiciones ambientales u en su defecto más susceptibles.

Los bovinos disponen de glándulas sudoríparas en la base de cada uno de sus folículos pilosos y el número de folículos por unidad de superficie mantendrá una relación con la eficacia potencial de pérdida de calor por sudoración, entre sus propiedades se tiene el diámetro, distribución y número de glándulas sudoríparas, las cuales se encuentran en cada uno de los folículos pilosos por unidad en superficie mantienen con eficacia la pérdida de calor por medio de sudoración (Lloyd y Patel, 2008). La sudoración es un mecanismo termoregulatorio de los bovinos y es provocada por la estimulación de receptores cutáneos de calor y por una elevación de la temperatura hipotalámica, sin embargo, una temperatura cutánea no es capaz de provocar una sudoración sin una simultánea contribución hipotalámica (Dukes y Swenson, 1978). No obstante, la capacidad de sudoración varía entre distintas razas. En bovinos, la raza cebú posee mayor número de folículos pilosos, tamaño y forma de glándulas sudoríparas por centímetro cuadrado de piel a diferencia de ganado europeo (Carvalho *et al.*, 1995; Landaeta-Hernández *et al.*, 2010).

Otro factor determinante de la adaptación de los animales al medio circundante es la densidad, espesor, color e inclinación del pelo. Estas características son muy importantes debido a importancia que tienen en la absorción de la radiación, disipación y sudoración (Gaughan *et al.*, 2009). Generalmente animales *Bos indicus* presentan pelo más corto y colores más claros se adaptan de mejor manera a ambientes con altas temperaturas a diferencia de *Bos taurus* que presentan colores más oscuros y pelo más largo (Maia *et al.*, 2003)

2.4.2. Uso de sombras en ganado de engorda en corral

El uso de sombras se considera una práctica de manejo básica e indispensable en explotaciones intensivas de regiones con climas cálidos, lo que se convierte en uno de los medios más eficientes utilizados en los corrales de engorda, ya que proporciona un alivio inmediato contra los efectos de la radiación solar (Beatty *et al.*, 2006; Gaughan *et al.*, 2010). Por ello es una de las mejores herramientas que se tienen para reducir el efecto del EC en los animales.

Trucker *et al.* (2008) mencionan que la conducta del animal es modificada ante situaciones de EC, donde se observa la búsqueda de sombra para mitigar la carga calórica, sin tener preferencias por el tipo de material.

El uso de sombras en climas cálidos es esencial y puede reducir de 30 a 50% la energía radiante que reciben los animales, además, reducen la temperatura del suelo en los corrales, lo que disminuye considerablemente la carga calórica total (Collier *et al.*, 2006). Esto se traduce en mejor bienestar animal, favoreciendo las constantes fisiológicas, frecuencia respiratoria, temperatura rectal, temperatura corporal, así como el comportamiento y la producción (Brown-Brandl *et al.*, 2005).

Proveer este tipo de manejo es de suma importancia y de las opciones menos costosas, esto debido a que algunos de los materiales a utilizar pueden ser de la región lo que no requiere una gran inversión, sin embargo, existen instalaciones a las que se les puede adicionar a la sombra para mejorar los sistemas de producción, pero estos implementos pueden requerir mayor inversión como el uso de sombras con ventilación forzada u aspersores (Correa-Calderón *et al.*, 2004).

Es importante reconocer que la funcionalidad de la sombra depende en gran parte del espacio de sombra por animal, se sabe muy poco al respecto de los m² de sombra por animal que se requieran para evitar aglomeraciones en los corrales y disminuir la carga calórica en los animales. Algunos investigadores han sugerido e investigado diferentes áreas de sombra por animal, Buffington *et al.* (1983) recomiendan un espacio de 4.2 m² por animal. En algunos estudios se ha encontrado que proporcionar sombra en los corrales aumentó el confort de los animales y, por ende, redujo significativamente la FR. Mitlohner *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. Arias (2008) sugiere que la sombra debe ser de una superficie de 1.85 a 3.70 m² por animal y estar ubicado a una altura de 2.5 a 4 m, para un mejor flujo de aire bajo la sombra. Sullivan *et al.* (2011) encontraron que en ganado de carne con un área de sombra de 3.3 m²/animal es suficiente para mejorar la productividad de los animales, sin embargo, no se han descrito con exactitud el área de sombra por animal para ganado de carne en corral.

Sin embargo, aunque el hecho de proporcionar sombra reduzca de manera eficiente 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, adicionalmente se deben emplear de otras estrategias como la manipulación en la dieta, adecuado suministro de agua y mantenimiento de los corrales (Hahn, 1999; Gaughan *et al.*, 2009). En algunos estudios se ha encontrado que proporcionar sombra en los corrales aumentó el confort de los animales y por ende, redujo significativamente la FR. Mitlohner *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. 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%), comparado con animales sin sombra. No obstante, Mitlohner *et al.* (2001) 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.

2.4.3. Uso de la termografía infrarroja en ganado de engorda en corral

El uso de termografía infrarroja es una tecnología moderna que se emplea ganadería. Es considerada una técnica no invasiva que nos permite determinar y calcular la variación de la temperatura en la superficie corporal de los animales (Stewart *et al.*, 2007). Esta técnica se desarrolla manipulando una cámara termográfica, la cual detecta la energía infrarroja emitida de la superficie por objetos u organismos y se utilizan los datos obtenidos en forma de imagen, un valor de la temperatura mediante un software especializado para analizar las imágenes a detalle y organizar los datos bajo análisis de calidad (Knížková *et al.*, 2007). Por lo tanto, las imágenes obtenidas de los animales nos permiten explorar valores obtenidos de temperaturas en diferentes áreas de la superficie corporal.

La práctica de esta tecnología resulta ser un procedimiento fácil, rápido y preciso si es utilizada de una forma adecuada (Luciane *et al.*, 2010). Diferentes autores indican que la utilización de esta herramienta en la ganadería nos brinda

ventajas: a) es conocida como un método no invasivo ya que no requiere manipulación ni sujeción de animales, por lo que no altera su conducta, b) bajo riesgo para los trabajadores por la captura de la imagen a distancia, c) permite evaluar el bienestar animal en forma precisa (Schaefer *et al.*, 2004; Stewart *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2016). No obstante, es importante tomar en cuenta factores físicos y ambientales al considerarse emplear esta técnica, y entre ellos se tienen: luz solar, viento, lluvia, partes del cuerpo cubiertas de agua, polvo o lodo y heces fecales (Church *et al.*, 2014).

En la industria ganadera y en ganado de engorda en corral, la termografía infrarroja se ha utilizado para la determinación de la eficiencia alimenticia, detección temprana de fiebre y/o enfermedades respiratorias, evaluación de lesiones e inflamaciones, evaluación de calor corporal y de la calidad de la carne; 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).

2.5. Literatura citada

- Aengwanich W, Kongbuntad W, Boonsorn T. Effects of shade on physiological changes, oxidative stress, and total antioxidant power in Thai Brahman cattle. *Int J Biometeorol* 2011;55(5):741-748.
- Alberghina D, Piccione G, Casella S, Panzera M, Morgante M. and M. Giancesella. The effect of the season on some blood metabolites and haptoglobin in dairy cows during postpartum period. *Arch Anim Breed* 2013;56: 354-359.
- Aleena J, Pragna P, Archana PR, Sejian V, Bagath M, Krishnan G, Manimaran A, Beena V, Kurien EK, Varma G and R Bhatta. Significance of metabolic response in livestock for adapting to heat stress challenges. *Asian J Anim Sci* 2016; 10:224-234.
- Al-Saeed HM, Haidar KA and F.G. Rashad. Selective evaluation of certain blood and biochemical parameters of local cattle during winter and summer seasons *Bas. J Vet Res* 2009; 8:138-143.

- Angel SP, Amitha JP, Rashamol VP, Vandana GD, Savitha ST, Afsal A, Krishnan G, and V. Sejian. Climate change and cattle production: impact and adaptation. *J Vet Med Res* 2018;5(4):1134.
- Arias RA, and TL, Mader. Environmental factors affecting daily water intake on cattle finished in feedlots. *J Anim Sci* 2011; 89:245–251.
- Arias RA, TL, Mader, and Escobar PC. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch Med Vet* 2008;40: 7- 22.
- Attia NES. Physiological, hematological and biochemical alterations in heat stressed goats. *BVMJ* 2016;31(2): 56-62.
- Avendaño-Reyes L, Álvarez FD, Correa-Calderón A, Torrentera NG, Torres V. and DE. Ray. Frecuencia de alimentación e iluminación nocturna y productividad de vaquillas para engorda en verano. *Arch Zootec* 2011; 60:1-8.
- Baumgard LH, and P Jr. Rhoads. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annu Rev Anim Biosci* 2013;1: 17-27.
- Beatty DT, Barnes A, Taylor E, Pethick D, McCarthy M and SK. Maloney. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *J Anim Sci* 2014;84: 972–985.
- Beatty DT, Barnes A, Taylor ED, Pethick, McCarthy M, and S. K. Maloney. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *J Anim Sci* 2006; 84:972–985.
- .Beede, DK, and RJ, Collier. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J Anim Sci* 1986; 62:543-554.
- Bernabucci, U, Lacetera N, Baumgard LH, Rhoads RP, Ronchi B, and Nardone. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Anim Sci* 2010; 4:1167-1183.
- Bhan C, Singh SV, Hooda OK, Upadhyay RC, Beenam and M Vaidya. Influence of temperature variability on physiological, hematological and biochemical profile of growing and adult sahiwal cattle. *J Environment Res Develop* 2012;7: 986-984.
- Brown-Brandl, TM, Eigenberg RA, Nienaber JA, and G.L. Hahn. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, part 1: Analyses of indicators. *J Biosyst Eng* 2005; 90:451–462.

- Buffington DE, Colazon-Arocho A, Canton GH, and D. Pitt. Black globe-humidity index (bg_{hi}) as comfort equation for dairy cows. *Trans Am Soc Agric Eng* 1981;24: 711-714.
- Cain JW, Krausman PR, Rosenstock S, and Turner JC. Mechanisms of thermoregulation and water balance in desert ungulates. *Wild Soc Bull* 2006; 34:570- 581.
- Campos R, Carreño ES, and FD, González. Perfil metabólico de vacas nativas colombianas. *Rev Orinoquia* 2004;8: 32-41.
- Cardoso CC, Peripolli V, Amador SA, Brandão EG, Esteves GIF, Sousa CMZ, França MFMS, Gonçalves FG, Barbosa FA, Montalvão TC, Martins CF, Fonseca-Neto AM. and C. McManus. Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livest Prod Sci* 2015;182: 83-92.
- Carvalho FA, Lammoglia MA, Simoes MJ, and Randel RD. Cattle subjected to heat stress Breed affects thermoregulation and epithelial morphology in imported and native J *Anim Sci* 1995;73:3570-3573.
- Church JS, Hegadoren PR, Paetkau MJ, Miller CC, Regev-Shoshani G, Schaefer AL, and Schwartzkopf-Genswein. Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle *Res Vet Sci* 2014; 96:220-226.
- Collier RJ, Dahl GE, and VanBaale MJ. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J Dairy Sci* 2006; 89:1244-1253.
- Collin A, Van Milgen J, Dubois S, and Noblet J. Effect of high temperature on feeding behavior and heat production in group-housed young pigs. *Brit J Nutr* 2001; 86:63-70.
- Correa-Calderón A, Cantabrana YVM, Zarate VFJ, Avendaño-Reyes L, Álvarez AE, Flores ACF and Acuña PC. Physiological and productive response of feedlot steers with an open space cooling system in an arid, dry climate. *Tec Pec Mex* 2007;45: 345-354.
- Correa-Calderón A, Yáñez, V, Verdugo F, Avendaño-Reyes L. Efecto de un Sistema de enfriamiento a espacio abierto en la eficiencia productiva de novillos Holstein durante el verano. *Inter* 2004; 29:86-88.
- Cunningham, J. G. 2014. *Fisiología Veterinaria*. (5ta edición). Ed. Elsevier. México, D.F.
- Doornenbal H, Tong AK, and Murray NL. Reference values of blood parameters in beef cattle of different ages and stages of lactation. *Can J Vet Res* 1988;52 (1): 99-105.
- Dukes, HH, y Swenson MJ. Regulación de la temperatura y fisiología ambiental. En: *Fisiología de los Animales Domésticos*. Edit Reece O.W. 1978; (2): 1426-1428.

- Eigenberg RA, Brown-Brandl TM, Nienaber JA, and Hahn GL. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 2: predictive relationships *Biosyst Eng* 2005;91:111-118.
- Nouty FD, Elbanna IM, Davis TP, and HD. Johnson. Aldosterone and ADH response to heat and dehydration in cattle. *J Appl Physiol* 1980; 48:249–255.
- Feldman BF, Zinkl JG, and NC Jain. *Schalm's Veterinary Hematology*. Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia. 2002.
- Ferreira F, Campos WE, Carvalho AU, Pires MFA, Martinez ML, Silva MVGB, Verneque RS, and PF Silva. Parâmetros clínicos, hematológicos, bioquímicos e hormonais de bovinos submetidos ao estresse calórico. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2009;61 (4): 769-776.
- Gaughan JB, Bonner S, Loxton I, Mader TL, Lisle A, and Lawrence R. Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *J Anim Sci* 2010; 88:4056-4067.
- Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Josey MJ, and Rowan KJ. Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *J Anim Sci* 1999; 77:2398–2405.
- Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Sullivan ML, and Hahn, GL. Assessing the heat tolerance of 17 beef cattle genotypes. *Int J Biometeorol.* 2009;54: 617-627.
- George JW, Snipes J, and Lane. Com WM. parison of bovine hematology reference intervals from 1957 to 2006. *Vet Clin Pathol* 2010;39(2): 138-148.
- Guyton AC, And JE Hall. 2006. "Hormonas Corticosuprarrenales". *Tratado de Fisiología Médica*. 11^a ed. España: ELSEVIER; 944-959.
- Hahn GL. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J Anim Sci* 1999;77: 10-20.
- Hansen PJ. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Anim. Reprod Sci* 2004; 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.
- Jenkinson M, and Mabon, RM. The effect of temperature and humidity on skin surface pH and the ionic composition of skin secretions in Ayrshire cattle. *D Br vet* 1973;129: 282-295.

- Kaliber M, Koluman N, and Silanikove N. Physiological and behavioral basis for the successful adaptation of goats to severe water restriction under hot environmental conditions. *Anim* 2016;10: 82–88.
- Kamal R, Dutt T, Patel M, Dey A, Chandran PC, Bharti PK, and Barari SK. Behavioural, biochemical and hormonal responses of heat-stressed crossbred calves to different shade materials. *J Appl Anim Res* 2016; 44(1): 347-354.
- Kaneko JJ, Harveyand, JW and ML, Bruss. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. 6th ed. Academic Press; San Diego (USA) 2008;916-921.
- Khazanehei H, Li, Khafipour E, and JC Plaizier. Effects of dry period management and parity on rumen fermentation, blood metabolites, and liver triacylglyceride in dairy cows. *Can J Anim Sci* 2015;95: 445-453.
- Knížkov IP, Kunc G A, Gürdil K, Pinar Y, and Selvi KC. Applications of infrared thermography in animal production. *J Fac Agric* 2007;22: 329- 336.
- Koubkova M, Knizkova L, Kunc P, Hartlova H, Flusser Dolezal JO. Influence of high environmental temperatures and evaporative cooling on some physiological, hematological and biochemical parameters in high-yielding dairy cows. *Czech J Anim Sci* 2002 ;47: 309-318.
- Kwiatkowski T, Pres J, Marcinkowski K, and Sekula, B. The influence of energetic additional feeding of cows during postnatal period on their state of health and productivity. *Med Vet* 1993;43: 611-616.
- Landaeta-Hernández AS, Zambrano-Nava PJ, Hernández-Fonseca R, Godoy M, Calles LJ, Iragorri L, Añez M, Polanco M, Montero-Urdaneta and Olson T. Variability of hair coat and skin traits as related to adaptation in Criollo Limonero cattle. *Trop Anim Health Prod* 2010;43: 657-663.
- Lloyd, DH, y Patel, AP. Estructuras y funciones de la piel. *Manual de dermatología en pequeños animales y exóticos*. J. M. Sastre Vida. España. 2008.
- Luciane SM, Holmer SJ, Saulo LS, and Balieiro JC. 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* 2010; 54:647-652.
- Macías-Cruz U, Gastélum-Delgado MA, Avendaño-Reyes L, Correa-Calderón A, Mellado M, Chay-Canul A, CF Arechiga. Variaciones en las respuestas termorregulatorias de

ovejas de pelo durante los meses de verano en un clima desértico. *Rev Mex de Cienc Pecu.* 2018;9: 4.

Macías-Cruz U, López-Baca MA, Vicente R, Mejía A, Álvarez FD, Correa-Calderón A, Meza-Herrera CA and M Mellado. Effects of seasonal ambient heat stress (spring vs. summer) on physiological and metabolic variables in hair sheep located in an arid region. *Int J Biometeorol* 2015;60: 1279-1286.

Mader TL, Holt SM, Hahn GL, Davis MS, and Spiers DE. Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *J Anim Sci* 2002; 80:2373-2382.

Mader TL, and Davis MS. Effect of management strategies on reducing heat stress of feedlot cattle: Feed and water intake. *J Anim Sci* 2004; 82:3077–3087.

Mader TL, Johnson LJ, and Gaughan JB. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *J Anim Sci.* 2010; 88:2153–2165.

Mader TL, Davis MS, and Brown-Brandl T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J Anim Sci* 2006; 84:712–719.

Maia CSA, Gomez DSR, and Bertipaglia ACE. Haircoat traits in Holstein cows in tropical environments: a genetic and adaptative study. *R Bras Zootec Vet* 2003;32: 843-853.

Marai IF, and Haeheb, AA. Buffalo's biological functions as affected by heat stress - A review. *Livest Sci* 2010;127: 89-109.

Marai IF, and Haeheb AA. Buffaloes reproductive and productive traits as affected by heat stress. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2010;12(2): 193-217.

Matteri RL, Carroll JA, and Dyer CJ. Neuroendocrine responses to stress basic principles and implications for animal welfare. *Wal* 2000; CABI: 43-76.

Mazzullo G, Rifici C, Caccamo G, Rizzo M, and Piccione G. Effect of different environmental conditions on some haematological parameters in cow. *Ann Anim Sci* 2014;14: 947-954.

Mitlöhner FM, Morrow JL, Wilson SC, Dailey JW, and McGlone JJ. Behavioral sampling techniques for feedlot cattle. *J Anim Sci* 2001; 79:1189–1193.

Mitlöhner FM, Gaylean ML, and McGlone JJ. Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers. *J Anim Sci* 2002; 80:2043–2050.

- Mundim AV, Costa AS, Mundim SAP, Guimarães EC and FS Espindola. Influence of parity and stage of lactation on the blood biochemical profile of Saanen goats. *Arch Bras Med Vet Zootec.* 2007;59: 306-312.
- Muñoz-Durango N, Fuentes CA, Castillo AE, González-Gómez LM, Vecchiola A, Fardella CA and AM Kalergis. Role of the renin-angiotensin-aldosterone system beyond blood pressure regulation: molecular and cellular mechanisms involved in end-organ damage during arterial hypertension. *Int J Mol Sci* 2016;17 (7): 797-805.
- Nagase M. Activation of the aldosterone/mineralocorticoid receptor system in chronic kidney disease and metabolic syndrome. *Clin Exp Nephrol* 2010;14: 303-314.
- Navas PA. Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Rev Med Vet* 2010; 19:113-122.
- Nguyen TTT, Bowman PJ, Haile-Mariam M, Pryce JE, Hayes BJ. Genomic selection for tolerance to heat stress in Australian dairy cattle. *J Dairy Sci* 2016;99(4): 2849-2862.
- Nienaber JA, and Hahn GL. Livestock production system management responses to thermal challenges. *Int J Biometeorol* 2007; 52:149–157.
- NRC. 1981. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. National Academic, Washington, DC USA pp;75-84.
- Nunes AS, Barbosa OR, Sakaguti ES, Sakuno MLD, Araujo MFTE. And CP da Silva. Efeito de Dois Regimes de Suplementação Alimentar e Dois Sistemas de Produção, nos Constituintes Sangüíneos de Cabras Saanen Durante a Lactação. *Rev Bras Zootec* 2002;31(3) 1245-1250.
- Olkowski AA, Duke T, and C Wojnarowicz. The aetiology of hypoxaemia in chickens selected for rapid growth. *Comp. Biochem. Physiol* 2005;141: 122-131.
- Parmar MS, Madan AK, Rastogi SK and R Huozha. Comparative Study of Seasonal Variations on Hematological Profile in Sahiwal Cows (*Bos Indicus*) and Murrah Buffalo (*Bubalus Bubalis*). *J Anim Res* 2013;3(2): 167-171.
- Pereira AMF, Baccari Jr F, Titto EAL and JAA Almeida. Effect of thermal stress on physiological parameters, feed intake and plasma thyroid hormones concentration in Alentejana, Mertolenga, Frisian and Limousine cattle breeds. *Int J Biometeorol* 2008;52: 199-208.

- Rasooli A, Nouri M, Khadjeh GH and A Rasekh. The influences of seasonal variations on thyroid activity and some biochemical parameters of cattle. *J Vet Res* 2004; 5:1383-1391.
- Ribeiro LN, Ribeiro NM, Bozzi R, Givisiez ENP and GR Costa. Physiological and biochemical blood parameters of goats subjected to heat stress. *J Biomed Environment Sci* 2014;09: 29-35.
- Ribeiro MN, Ribeiro NL, Bozzi R and RG Costa. Physiological and biochemical blood variables of goats subjected to heat stress – a review. *J Appl Anim Res* 2018;46(1): 1036-1041.
- Ribeiro NL, Costa RG, Pimenta Filho EC, Ribeiro MN and R Bozzi. Effects of the dry and the rainy season on endocrine and physiologic profiles of goats in the Brazilian semi-arid region. *Ital J Anim Sci* 2018; 17:454-461.
- Ribeiro NL. Estudo do perfil genético e adaptativo de caprinos do grupo genético brasileiro azul e da raça italiana garfagnina. Tese, Universidade Federal da Paraíba. 2013.
- Saber APR, Jalali MT, Mohjeri D, Akhoole AA, Teymourluei HZN, Nouri M and S Garachorlo. The effect of ambient temperature on thyroid hormones concentration and histopathological changes of thyroid gland in cattle in Tabriz, Iran. *Asian J Anim Vet Adv* 2009;4: 28-33.
- Samanc H, Danijela K, Stojic V, Dragica S, Vujanac I, Prodanovic R and S Bojkovic-kovacevic. Application of the metabolic profile test in the prediction and diagnosis of fatty liver in holstein cows. *Acta Vet Beogr.* 2011;5(6):543-553.
- Scharf B, Carroll JA, Riley DG, Chase Jr CC, Coleman SW, Keisler DH, Weaber RL and DE Spiers. Evaluation of physiological and blood serum differences in heat-tolerant (Romosinuano) and heat-susceptible (Angus) *Bos taurus* cattle during controlled heat challenge. *J Anim Sci* 2014;88: 2321–2336.
- Sejian V, Bhatta R, Gaughan JB, Dunshea FR and N Lacetera. Review: Adaptation of animals to heat stress. *Anim* 2018;12(S2): s431–s444.
- Silanikove, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest Prod Sci* 2000;67, 1-18.
- Silva JE Thermogenic mechanisms and their hormonal regulation. *Physiological Rev* 2006;86: 435-464.

- Silva WE, Leite JHGM, de Sousa JER. Daily rhythmicity of the thermoregulatory responses of locally adapted Brazilian sheep in a semiarid environment. *Int J Biometeorol* 2017;61(7):1221-1231.
- Silva LM, da Luz SS, da Costa GM, da Silva CR, and P. P. Leme. 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* 2016; 60:173-181.
- Slimen B, Najar T, Ghram A and M Abdrrabba. Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects, a review. *J Anim Physiology and Animal Nutrition* 2016;100: 401-412.
- Sparke EJ, Young BJ, Gaughan JB, Holt M, and P.J. Goodwin. Heat load in feedlot cattle. *Meat and Livestock Australia Ltd Project Flot* 2001;307-309, North Sydney, NSW, Australia.
- Stephenson RB, Sección III: Fisiología cardiovascular. *Fisiología Veterinaria 5º Edición*. Cunningham, J. G y Klein, B. G. Barcelona. Editorial Elsevier, 2014;158-260.
- Stewart M, Webster JR, Verkerk GA, Schaefer AL, Colyn JJ, and K. J. Stafford. Non-invasive measurement of stress in dairy cows using infrared thermography. *Physiol Behav* 2007; 92:520–525.
- St-Pierre NR, Cobanov B, and G. Schmitkey. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J Dairy Sci* 2003; 86:52–77.
- Sullivan ML, Cawdell-Smith AJ, Mader TL, Gaughan JB. Effect of shade area on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. *J Anim Sci* 2011;89(9):2911-2925.
- Swenson MJ and WO Reece 1996. *Dukes-Fisiologia dos animais domésticos*. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- Thompson VA, Fadel JG, and R. D. Sainz. Meta-analysis to predict sweating and respiration rates for *Bos indicus*, *Bos taurus*, and their crossbreds. *J Anim Sci* 2011; 89:3973–3982.
- Tucker CB, Rogers AR and K.E. Schutz. Effect of solar radiation on dairy cattle behavior, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *App. Anim Beha Sci* 2008; 109:141-154.

- Vicente-Pérez A, Avendaño-Reyes L, Barajas-Cruz R, Macías-Cruz U, Correa-Calderón A, Corrales-Navarro JL and JE Guerra-Liera. Parámetros bioquímicos y hematológicos en ovinos de pelo con y sin sombra bajo condiciones desérticas. *Ecosist Rec Agropec* 2018;5(14): 259-269.
- Vicente-Pérez R, Macías-Cruz U, Avendaño-Reyes L, Correa-Calderón A, López-Baca MA and AL Lara-Rivera. Impacto del estrés por calor en la producción de ovinos de pelo. Revisión. *Rev Mex Cienc Pecu* 2020;11(1): 205-222.
- Vijayakumar P, Dutt T, Singh M and HN Pandey. Effect of heat ameliorative measures on the biochemical and hormonal responses of buffalo Heifers. *J Appl Anim Res* 2011;39(3):181–184.
- Yousef MK. 1985. Heat production mechanism and regulation in: Yousef, K.J (ed) *Stress Physiology in Livestock*. (2):175-194.

CAPÍTULO III. ARTICULO 1

Efecto de dos áreas de sombra y genotipo en parámetros hematológicos y bioquímicos de vaquillas engordadas en corral

Effect of two shade areas and genotype on hematological and biochemical parameters in feedlot heifers

(Publicado en la Revista ITEA)

3.1. Resumen

El objetivo fue evaluar el efecto de área de sombra por animal en concentraciones hematológicas y bioquímicas de vaquillas de engorda cebú y europeas bajo estrés calórico. Un total de 510 vaquillas cebú, europeas y sus cruza se asignaron aleatoriamente a seis corrales divididos en dos tratamientos: T1) tres corrales con 100 vaquillas por corral (2.7 m²/animal de sombra), y T2) tres corrales con 70 vaquillas por corral (3.7 m²/animal de sombra). Se obtuvieron tres muestras de sangre en 15 animales por genotipo y por corral tres veces (días 1, 28 y 66 del estudio). Para estimar metabolitos, electrolitos y hormonas tiroideas se utilizó suero sanguíneo, mientras que para componentes hematológicos sangre fresca. Los datos se analizaron mediante arreglo factorial 2x2 en un diseño completamente al azar. El índice temperatura-humedad (ITH) promedió 81.7 unidades. En T1, los dos genotipos tuvieron similar (P<0.05) concentración de glucosa, pero en T2 glucosa fue más alto (P<0.05) en cebú. La urea fue menor (P<0.05) en T2 que T1. El Na⁺ en T1 fue mayor (P <0.05) que en T2, pero Cl⁻ fue menor en T1 (P <0.05) que en T2. La triiodotironina (T₃) fue menor en T1 (P <0.05) que en T2. Hematocrito (Htc) y hemoglobina (Hb) fueron similares entre genotipos dentro de T1 (P<0.05), pero en T2 las cebú tuvieron mayor (P<0.05) Htc y Hb que europeas. Los niveles hematológicos y bioquímicos de vaquillas de engorda no presentaron diferencias importantes por efecto de área de sombra por animal o genotipo durante el verano.

Palabras claves: *vaquillas, electrolitos, hematología, sombra.*

3.2. Abstract

The aim of the study was to determine the effect of shade area per animal on hematological and biochemical concentrations in Zebu and European heifers fattened under heat stress conditions. A total of 510 Zebu, Europeans heifers and its crosses were randomly assigned to six pens divided in two shade areas: T1) three pens with 100 heifers per pen (shade area: 2.7 m²/animal), and 2) three pens with 70 heifers per pen (shade area: 3.7 m²/animal). Fifteen blood samples of each genotype per pen were collected three times (days 1, 28 and 66 of the study). To analyze metabolites, electrolytes and thyroid hormones, serum samples were used, while for hematological components fresh blood was used. Data was analyzed with a 2x2 factorial arrangement in a completely randomized design. The temperature-humidity index averaged 81.7 units. In T1, both genotypes showed similar glucose concentration (P<0.05), but in T2 glucose concentrations was higher in Zebu (P <0.05). The urea levels were lower (P <0.05) in T2 than in T1. The Na⁺ in T1 was higher (P<0.05) than in T2. The Cl⁻ in T1 was lower (P <0.05) than in T2. The hormone T₃ showed lower concentration (P <0.05) in T1 compared to T2. No differences were detected for Htc and Hb between genotypes within T1 (P <0.05), but in T2 Zebu heifers had more Htc and Hb (P <0.05) than Europeans. The hematological and biochemical variables of fattening heifers did not show substantial differences by shade area or genotype during summer.

Key words: *heifers, electrolytes, hematology, shade.*

3.3. Introducción

A nivel mundial se ha aceptado una tendencia de aumento en la temperatura ambiente como una consecuencia del calentamiento global (1). Este aumento de la temperatura puede acompañarse de efectos negativos importantes en el sector agropecuario, lo cual a su vez puede perturbar la seguridad alimentaria en el planeta. En México, las principales operaciones de ganado bovino de engorda se localizan en estados ubicados en zonas áridas y semiáridas del norte del país, donde la producción de insumos hace más fácil y rentable esta actividad. Sin embargo, estas

regiones se también distinguen por presentar altas temperaturas y/o humedad relativa durante el verano (2). Las altas temperaturas provocan en el animal alteraciones fisiológicas que conducen a una condición fisiopatológica conocida como estrés calórico (3). Esta condición ocurre cuando existen cargas excesivas de calor junto con baja velocidad del viento y elevada radiación solar, lo que afecta directamente el rendimiento y el bienestar animal; este escenario se intensifica bajo sistemas de producción en confinamiento (4-6). La respuesta al estrés calórico (EC) es muy compleja debido a factores como genotipo, edad, condición corporal, color de pelaje y estatus sanitario. No obstante, el bovino responde mediante la modificación de sus procesos fisiológicos y de conducta para reducir la carga calórica, como son cambios en parámetros hematológicos y bioquímicos, en síntesis y secreción de hormonas, así como en actividades de postura y caminado, entre otros (7, 8). El conocimiento de alternativas que ayuden a mitigar el EC en épocas calurosas es de suma importancia para el sector ganadero. Dentro de estas alternativas se pueden enlistar la manipulación nutricional de la dieta (9), cambios en la frecuencia y hora de alimentación (2), así como la manipulación ambiental del entorno de los animales (10). Dentro de las opciones de manipulación ambiental se considera al uso de sombras como manejo básico para proteger a los animales y evitar el aumento en su temperatura corporal (11). Sin embargo, la determinación del espacio o área de sombra por animal en sistemas de producción intensivo se ha propuesto como un problema que influye en el estrés para el ganado de engorda, sobre todo cuando éstos se encuentran en zonas cálidas. Aengwanich *et al.* (12) evaluaron el efecto de proporcionar sombra artificial, sombra natural y sin sombra mediante la comparación de parámetros fisiológicos usando ganado Brahman. Los animales sin sombra tuvieron frecuencia respiratoria, tasa de sudoración y relación neutrófilos/linfocitos más elevada que animales con sombra. Sullivan *et al.* (8) evaluaron diferentes áreas de sombra (0, 2.0, 3.3 y 4.7 m²/animal) en ganado Angus, encontrando que proveer sombra mejoró el bienestar y productividad de los animales; además, señalan que proveer más de 2 m²/animal de sombra no produjo mejores resultados. Sin embargo, en presencia de ondas de calor, proveer más de 2 m²/animal mejoró el bienestar del ganado. Estos resultados demuestran que el uso de sombra es esencial en

explotaciones de bovinos ubicadas en zonas cálidas, sin embargo, el área de sombra por animal que mejore su bienestar es un aspecto que aún no está determinado.

Por lo tanto, El objetivo de este estudio fue comparar el efecto de proporcionar dos áreas de sombra por corral (2.7 y 3.7 m²/animal) en concentraciones hematológicas y bioquímicas de vaquillas cebú y europeas engordadas bajo condiciones de estrés por calor en una zona árida.

3.4. Materiales y métodos

3.4.1. Lugar del estudio y duración

El estudio se realizó en las instalaciones de una engorda comercial de bovinos productores de carne que maneja alrededor de 15,000 cabezas y está ubicada en el Ejido Saltillo, Valle de Mexicali, Baja California, en el noroeste de México. Su ubicación geográfica es 32°25'27" latitud norte y 115°07'30" de longitud oeste. El clima de la zona es árido, seco y extremo, muy frío en invierno (< 0°C) y muy caliente en verano (> 45°C). La precipitación pluvial es escasa, con promedio anual de 86 mm que se concentran en diciembre y enero (13). El estudio abarcó el periodo más cálido del año en la zona, durante los meses de julio a septiembre, con una duración promedio de 66 d.

3.4.2. Animales experimentales, tratamientos y dieta usados

Se utilizaron 510 vaquillas en fase de finalización con peso inicial promedio de 432 ± 28 kg. Las vaquillas fueron de genotipo europeo, cebú y sus cruza, que se asignaron aleatoriamente a seis corrales y se dividieron en dos tratamientos con base a la concentración de animales por corral: T1) tres corrales con 100 vaquillas cada uno (densidad de sombra 2.7 m²/animal); y T2) tres corrales con 70 vaquillas por corral (densidad de sombra 3.7 m²/animal). La dimensión de los corrales fue 30 x 30 m, mientras que la de las sombras fue 30 x 6.35 m en T1 y 30 x 12.3 m en T2, con orientación N-S. El material de las sombras fue natural, usando una planta nativa de la zona llamada Cachanilla (*Pluchea sericea*). En T1 se tuvo un área por corral de 9 m²/animal, mientras que T2 tuvo área de 12.9 m²/animal. Cada corral contó con comedero tipo canoa linealmente dispuesto del lado este del pasillo y bebedero

automático. El alimento se sirvió dos veces por día (07:00 y 14:30 h) y la ración consistió en: maíz rolado (71.5%), granos secos de destilería (DDG's 12%), ensilado de sorgo dulce (10%), heno de alfalfa (4%) y premezcla comercial de minerales (2.5%). La composición química de la dieta fue 94.6% de materia seca (MS), 2.3% de proteína cruda, 5.6 de cenizas, extracto etéreo 6.03% y fibra detergente neutro 51.6%.

3.4.3. Procedimiento experimental

El estudio inició el 25 de julio, sin embargo, los animales salieron de acuerdo a las necesidades del mercado en fechas distintas que en promedio tuvieron una duración de 66 d. Los muestreos sanguíneos coincidieron con los días de pesaje, ya que los sangrados se realizaron en la báscula-trampa. Estos días fueron 1, 28 y 66, tratando de que coincidieran con el inicio, mitad y final de su engorda. Se colectaron dos tubos, uno para estimar las variables hematológicas con sangre entera que se llevaba al Laboratorio de Fisiología Animal del ICA-UABC para su análisis inmediato, mientras que el otro se centrifugaba y posteriormente se le determinaban metabolitos, electrolitos y hormonas en el mismo laboratorio.

3.4.4. Variables de respuesta

Las variables climáticas temperatura y humedad relativa se colectaron de higrotermógrafos colocados en el sitio experimental y con ellas se estimó el índice temperatura-humedad (ITH) utilizando la fórmula propuesta por Hahn (14):

$$ITH = 0.81 * Temp + HR / 100 * (Temp - 14.4) + 46.4$$

Donde

ITH = Índice temperatura-humedad

Temp = Temperatura ambiente

HR = Humedad relativa

Se registraron variables fisiológicas en 30 vaquillas seleccionadas aleatoriamente de cada tratamiento (10 por corral); de ellas, 15 vaquillas fueron tipo *Bos indicus* (con

jiba y oreja pendulosa) y 15 tipo *Bos taurus* (en su mayoría Charolaise). Se colectaron dos muestras de sangre, la primera en tubos vacutainer de 10 ml mediante venopunción en la vena yugular antes de la alimentación matutina. Las muestras se centrifugaron a 350 g durante 15 min a 10° C; el suero se separó por duplicado en viales de 2 ml y se almacenó a -20° C para su posterior análisis en el Laboratorio de Fisiología Animal del ICA-UABC. Los metabolitos (glucosa, colesterol, urea, triglicéridos y proteína total) se analizaron con un equipo de química sanguínea (Model DT-60, Johnson Co.; High Wycombe, UK), mientras que los electrolitos (Na⁺, Cl⁻ y K⁺) se analizaron con un equipo automatizado (Electrolyte Analyzer LW E60A; Landwind Medical; Shenzhen, China). También se determinaron las hormonas triiodotironina (T₃) y tiroxina (T₄) mediante un analizador automático para pruebas de Elisa y pruebas de Quimioluminiscencia (CLIA) con un equipo Thunderbolt® Analyzer (Davis, CA, USA). Para estimar los componentes hematológicos, el segundo muestreo de sangre se colectó en tubos vacutainer de 4 ml que contenían EDTA-K₂, para posteriormente en sangre fresca determinar concentraciones de los siguientes componentes hematológicos usando un equipo automatizado (Auto Hematology Analyzer, Mindray, BC-2800 Vet; Shenzhen, China): glóbulos blancos (Gb), leucocitos (Leu), linfocitos (Lin), monocitos (Mon), granulocitos (Gran), glóbulos rojos (Gr), hemoglobina (Hb), hematocrito (Htc), volumen corpuscular medio (VCM), hemoglobina corpuscular media (HCM), concentración corpuscular media de hemoglobina (CCMH), ancho de distribución de eritrocitos (ADE), ancho de distribución del tamaño plaquetario (ADTP), plaquetas (Plt) y volumen medio de plaquetas (VMP).

3.4.5. Análisis estadístico

Las variables de estudio se analizaron mediante un arreglo factorial 2x2 en un diseño completamente al azar, considerando la anidación de corral en tratamiento. Los factores fueron: área de sombra por animal (T1 y T2) y genotipo (europeo y cebú). Las diferencias entre medias ajustadas se detectaron con la opción PDIFF/STDERR y el nivel de error utilizado fue 5%. Los análisis se realizaron con el procedimiento GLM (General Linear Models) del programa estadístico SAS (15).

3.4. Resultados

3.4.1. Variables climáticas

El Cuadro 1 muestra el resumen de las variables climáticas que se registraron durante el estudio. El promedio de temperatura máxima durante el periodo completo alcanzó 38 °C, mientras que en el horario nocturno la temperatura máxima fue 34.3 °C. En promedio, la Temp durante las horas del día fue de 36.5 °C y en el periodo completo 32.6 °C. Sin embargo, durante las horas de la noche promedió 29 °C. La HR máxima fue constante durante el periodo completo y horas de la noche (68.8%), mientras que durante las horas del día se presentó menor HR (49%) en ambos tratamientos. En promedio, la HR fue mayor durante las horas de la noche con 63%, a diferencia de las horas del día con 39.5%, siendo para el periodo completo de 52%. Por otro lado, el valor del ITH máximo fue mayor durante las horas del día y el periodo completo (85.6 unidades), a diferencia de la noche (84.4 unidades). El promedio del ITH durante el día fue 84.6 unidades y en la noche 79 unidades; en el periodo completo fue de 81.7 unidades. En general, las condiciones climáticas que prevalecieron en el estudio fueron adversas para ambos tratamientos.

3.4.2. Electrolitos

Las concentraciones séricas de los electrolitos se muestran en el Cuadro 2. Los niveles de K⁺ no presentaron diferencias ($P < 0.05$) por área de sombra ni por genotipo. En este mismo cuadro se observa que T1 presentó mayor ($P < 0.05$) concentración de Na⁺ que T2 (134.9 vs 132.3 mmol/L). No obstante, T2 presentó mayor ($P < 0.05$) concentración de Cl⁻ que T1 (110 vs 108.8 mmol/L). Los electrolitos K⁺, Na⁺ y Cl⁻ no fueron afectados ($P < 0.05$) por el genotipo de la vaquilla.

3.4.3. Metabolitos

Los resultados de metabolitos en efectos principales se muestran en el Cuadro 2, mientras que la interacción tratamiento x genotipo para glucosa se muestra en la Figura 1. En T1, el ganado cebú y europeo tuvieron similar ($P < 0.05$) concentración de glucosa (117.6 y 113.9 mg/dL), pero en T2 estos niveles fueron mayores ($P < 0.05$) en cebú (122.65 mg/dL) que en ganado europeo (107.96 mg/dL; Figura 1). No obstante que los niveles de urea fueron menores ($P < 0.05$) en T2 (19.68 mg/dL) que

T1 (21.45 mg/dL), sin observar diferencias por genotipo ($P>0.05$). En colesterol, proteína total y triglicéridos no se encontró efecto ($P>0.05$) de área de sombra ni genotipo.

3.4.4. Hematología

Los resultados del análisis de hematología se presentan en el Cuadro 3. La interacción genotipo x área de sombra fue significativa para Hb y Htc (Figura 2). En T1, el ganado cebú y europeo tuvieron similar ($P>0.05$) concentración de Hb (13.11 y 12.88 g/dL), pero en T2 los niveles de Hb fueron más altos ($P<0.05$) en cebú (13.66 g/dL) que en ganado europeo (12.57 g/dL). En Htc no se encontraron diferencias entre genotipos dentro de T1 ($P>0.05$), sin embargo, en T2 las cebú tuvieron mayor ($P<0.05$) concentración que las de tipo europeo (46.38 vs 42.53 %). Área de sombra tuvo efecto en porcentajes de granulocitos, presentándose mayor ($P<0.05$) concentración en T1 que T2 (46.51 vs 43.11 % respectivamente). En linfocitos, T2 tuvo mayor ($P<0.05$) concentración en comparación con T1 (47.89 vs 43.62 %), mientras que en Gran T1 fue mayor que T2 (4.31 vs 3.84 X 10⁹/L respectivamente). Las vaquillas cebú tuvieron mayor ($P<0.05$) concentración de Gb (9.72 vs 8.43 X 10⁹/L), Lin (4.56 vs 3.78 X 10⁹/L), Gran (4.30 vs 3.85 X 10⁹/L; cuadro 2) y VMP (5.02 vs 4.87 X 10¹⁵ L) que vaquillas tipo europeo. No obstante, el ganado europeo presentó mayor concentración de monocitos a diferencia de cebú (9.74 vs 8.94 %). Las variables restantes no fueron afectadas por ninguno de los factores del modelo.

3.4.5. Hormonas T3 y T4

El grupo T1 tuvo menor ($P <0.05$) concentración de T3 en comparación a T2 (1.14 vs 1.29 g/dL). Las vaquillas tipo europeo tuvieron menor ($P<0.05$) concentración de T3 a diferencia de las cebú (1.18 vs 1.26 g/dL). Finalmente, las concentraciones de T4 no fueron afectadas por ningún factor (Cuadro 3).

3.5. Discusión

3.5.1. Variables climáticas

De acuerdo a la clasificación del estrés calórico para ganado de engorda en corral señalada por Brown-Brandl *et al* (16), el valor donde inicia el estrés calórico para este tipo de animales es 75 unidades de ITH, el cual se considera estado de alerta y en la que es necesario tomar medidas para evitar la carga calórica. Esta clasificación del ITH considera que de 79 a 84 unidades el animal está en peligro y 84 unidades o más en emergencia, la cual es la clasificación más alta de estrés calórico. De acuerdo a esta información, los resultados de las condiciones ambientales durante el periodo experimental del presente estudio para ambos tratamientos demuestran que los animales se encontraban bajo condiciones de estrés calórico peligroso durante la mayor parte del periodo experimental, dado que el ITH fue mayor a 75 unidades desde las 10:00 a las 23:00 h diariamente. Las temperaturas promedio registradas por encima de 30°C, aunadas a una HR oscilando entre 34.4 y 68.8%, provocaron que la zona de confort de las vaquillas fuera excedida durante el periodo experimental (17). El promedio de ITH durante el periodo completo fue de 81.7 unidades. Por otro lado, Silanikove (8) menciona que un ITH mayor a 78 unidades puede causar en el animal complicaciones para regular la temperatura de su organismo.

3.5.2. Electrolitos

Uno de los principales problemas que se presenta en el ganado bovino engordado en corral en verano es la influencia que tiene el efecto del clima sobre su salud. La condición de estrés calórico puede comprometer el funcionamiento de las células del cuerpo y el metabolismo tiende a aumentar durante eventos de calor prolongado, por lo que la producción de calor metabólico también aumenta. Esto resulta en hipertermia, llegando a provocar, en casos extremos, la muerte de los animales (18). En el presente estudio, las concentraciones de electrolitos sanguíneos se encontraron dentro de los rangos normales de referencia (19), lo cual indica que las condiciones climáticas durante el estudio no fueron decisivas para causar en los animales algún grado de deshidratación. Cationes y aniones como el Na⁺, Cl⁻ y K⁺

intervienen en el mantenimiento del equilibrio ácido-base, de manera que en el animal existen mecanismos hipotalámicos que evitan la excreción de agua y pérdida de electrolitos mediante la estimulación y secreción de la hormona vasopresina (7). En condiciones de estrés calórico se espera una reducción en los niveles de Na⁺ y K⁺ así como un aumento en los niveles de Cl⁻ (20). También se menciona que las concentraciones de Na⁺ en sangre pueden reducirse en épocas de verano por un incremento en la excreción urinaria por aumento en la ingestión de agua, la cual a su vez es provocada por la baja producción de la hormona aldosterona. En el presente estudio, la respuesta entre vaquillas de tipo cebú y europeo ante los efectos del estrés calórico tendió a comportarse de manera similar, sin embargo, se encontraron diferencias entre las distintas densidades de animal, presentándose mayores concentraciones de Na⁺ en T1 y menores concentraciones de Cl⁻ en el T2, no obstante, los valores encontrados de estos electrolitos estuvieron dentro de los rangos establecidos por (19). Esto contrasta con lo señalado por Beatty *et al* (20), ya que reportan que ganado cebú y europeo bajo condiciones de estrés calórico tuvieron menores niveles de Na⁺ en plasma, mientras que los niveles de K⁺ y Cl⁻ no fueron afectados ni por genotipo ni por época del año. Por su parte, Scharft *et al* (21) realizaron un estudio durante 14 d para evaluar la capacidad termorreguladora en dos razas de ganado *Bos Taurus* sometidos a estrés por calor (temperaturas = noche: 26 ° C y día: 36 ° C). Estos autores encontraron que los niveles sanguíneos de K⁺ y Na⁺ no fueron afectados por la incidencia de las altas temperaturas, lo que coincide con los resultados obtenidos en este estudio.

3.5.3. Metabolitos

La importancia de la cuantificación de perfiles metabólicos sanguíneos reside en que es una herramienta indicadora del balance nutricional en los animales (22). No obstante, dichos perfiles también son considerados como indicativos importantes del comportamiento adaptativo de un animal a un determinado ambiente (23). Parámetros bioquímicos como la glucosa y el colesterol son comúnmente los más evaluados en animales debido a la relación que tienen con el metabolismo de la energía. Mientras que urea y proteína total se asocian al metabolismo de las

proteínas (24). Ocak *et al* (25) encontraron que la reducción en glucosa y colesterol puede ser un indicativo de fallas en la homeostasis debido a la incidencia de altas temperaturas. La reducción en los niveles de glucosa se atribuye a la producción de energía requerida para sustentar el incremento en los requerimientos de energía necesarios para la actividad muscular del sistema respiratorio (26). Mientras tanto, la reducción en los niveles de colesterol se atribuye a la disminución en el consumo de alimento (23). Esta situación fue observada en tratamiento 2, donde las vaquillas cebú mantuvieron mayores niveles de glucosa que las vaquillas europeas. Sin embargo, los niveles obtenidos se encontraron por encima de los valores normales en glucosa (54-79 mg/dl) y colesterol (80-120 mg/dl), señalados para bovinos adultos (27). Este incremento en colesterol coincide con la afirmación de Rasooli *et al* (26), quienes señalan que el incremento de colesterol en sangre se debe a que existe un aumento en la utilización de ácidos grasos para producir energía, como consecuencia de la disminución en la concentración de glucosa en animales estresados por calor. Por otro lado, el cortisol limita a la glucosa como principal fuente de energía, y a su vez incrementa los niveles de triglicéridos y proteínas como reservas de energía (28). Sin embargo, de acuerdo con RAR (27), los niveles obtenidos en el presente estudio estuvieron dentro del rango normal, probablemente porque las necesidades de energía en el animal se cubrían adecuadamente. Las concentraciones de urea sanguínea también se encontraron dentro de los rangos normales, lo que coincide con Merk (29), quien reporta valores de 10 a 25 mg/dl de urea como rango normal.

3.5.4. Hormonas T3 y T4

Las hormonas tiroideas ejercen acciones de gran efecto en el metabolismo energético y se consideran indicadores del estado metabólico y nutricional de los rumiantes, por lo que el funcionamiento adecuado de dichas hormonas es considerado esencial para la producción de los animales en el sector agropecuario. Las hormonas tiroideas tiroxina (T4) y triiodotironina (T3) cumplen un papel importante en reacciones bioquímicas, sin embargo, su principal acción se lleva a cabo sobre varios tejidos musculares (30). Un problema asociado a estas hormonas es el hipotiroidismo, el cual se puede llegar a padecer si existe secreción insuficiente

de estas hormonas. Esto resulta en efectos negativos sobre el bienestar y la producción de los animales (31). Factores ambientales como presencia de altas temperaturas causan disminución en la secreción de hormonas tiroideas, respuesta reconocida como mecanismo de defensa para mantener la homeostasis, lo que promueve la disminución en el consumo de alimento y, por ende, en reducción de la producción de calor metabólico (32). En este sentido, los resultados obtenidos en el presente estudio marcan una disminución considerable en las concentraciones de T3 conforme la época de verano aumenta. Esto coincide con Marai y Haebe (33), quienes realizaron un estudio en búfalos durante condiciones de estrés calórico y observaron disminución en las concentraciones de T3 y T4. Bajo este planteamiento, se cree que existe fuerte asociación entre las concentraciones de hormonas tiroideas y el consumo de alimento. En el presente estudio, la concentración de T3 fue mayor en el grupo con mayor sombra por animal, es decir, que estuvieron más espacio y sombra que el grupo con menos sombra y espacio. Esto coincide con los resultados de Correa-Calderón *et al.* (32) en un estudio realizado bajo condiciones ambientales similares donde encontró mayor concentración de T3 en animales bajo condiciones de sombra y enfriamiento con respecto a los de sólo sombra. Estos resultados se atribuyen a que proporcionar un mejor ambiente mejora la reducción de la carga calórica y mejora el metabolismo basal. Sin embargo, la respuesta hormonal ante condiciones adversas afecta de manera diferente a los animales, ya que razas cebú, a diferencia de las europeas, presentan mejor adaptación a altas temperaturas (34). Esto coincide con los resultados del presente estudio, porque las vaquillas cebú tuvieron mayor concentración de hormonas tiroideas que vaquillas tipo europeo.

3.5.5. Hematología

Los perfiles hematológicos de los animales se consideran indicadores del estado de salud y metabólico en el que se encuentran. Esto en razón de que el equilibrio y funcionamiento fisiológico es dependiente del torrente sanguíneo. Parámetros de componentes hematológicos son indicadores importantes del estado fisiológico y patológico en el animal, y pueden verse alterados por la calidad y cantidad de sangre circundante (35). No obstante, las concentraciones de estos componentes en sangre

pueden ser afectadas por diferentes factores que ejercen influencia sobre la actividad hematológica de los animales como estado fisiológico, edad, raza y condiciones ambientales (24). En este sentido, en el animal existe una respuesta ante la influencia de altas temperaturas que es la reducción del flujo sanguíneo a órganos internos, redistribuyéndolo hacia la periferia y hacia los músculos asociados con los ciclos respiratorios, lo que provoca cambios en los niveles de algunos componentes hematológicos. Entre los principales componentes hematológicos se encuentran los glóbulos blancos como: Leu, Lin, Mon, Gran. Dichos componentes son responsables de la producción de anticuerpos. Sin embargo, ante condiciones de estrés, suelen detonarse efectos negativos en el organismo como reacciones de clase nerviosa y endocrina que se activan, lo que resulta en la liberación de hormonas corticosteronas, que poseen efecto de inmunosupresión (36). Ante condiciones de estrés calórico, la producción de glucocorticoides aumenta, lo que resulta en un incremento de leucocitos circundantes en sangre (37). El número total de linfocitos en torrente sanguíneo en ganado *Bos indicus* fue mayor en comparación de *Bos taurus*, lo que se atribuyó a la relación que existe entre el perfil de linfocitos y el nivel glucocorticoides, así como a la mayor liberación de corticosterona en *Bos taurus*. Los promedios totales de linfocitos en ganado *Bos taurus* fueron menores en comparación de *Bos indicus*, sin embargo, ambos se encontraban dentro de los valores de referencia (29). Dichos resultados no concuerdan con un estudio realizado por Cardoso *et al* (38) en ganado cebú de distintas razas bajo condiciones de estrés calórico, quienes encontraron que las concentraciones de linfocitos fueron afectadas durante la exposición del ganado a estrés, aumentando los niveles de linfocitos. Por otro lado, en la variable monocitos se encontraron niveles elevados en ambos genotipos en relación a los presentados por Merk (29). Esto concuerda con los resultados presentados por Stanger *et al* (39), quienes mencionan que animales bajo condiciones de estrés calórico tienden a aumentar los niveles de monocitos por efecto de las condiciones ambientales. Lo que contrasta con Gutiérrez-de la Rosa *et al* (40) quienes no observaron diferencias sobre la cantidad de glóbulos blancos entre ganado *Bos taurus* y *Bos indicus* bajo condiciones de altas temperaturas. No obstante, otros componentes hematológicos son los GR, Hb, Htc, VCM, HCM,

CCMH, ADE, ADTP, Plt y VMP. Habitualmente, el conteo de estos componentes en sangre es desde un punto de vista clínico importante, niveles normales eritrocitos en sangre, indica una síntesis normal de hemoglobina en glóbulos rojos, y de esta manera existe una mejor capacidad de transportar oxígeno desde los pulmones por medio del torrente sanguíneo hacia los tejidos del cuerpo (41). En el presente estudio las concentraciones de hemoglobina fueron mayores para ganado *Bos indicus* que *Bos taurus*. Sin embargo, estos valores se encontraron dentro de los rangos descritos por RAR (27) y Merk (29) para ambos genotipos. Esto puede sugerir que los animales bajo estudio estuvieron ausentes de enfermedades en función de que la producción y liberación de glóbulos rojos logran una mayor capacidad hacia el sistema respiratorio como mecanismo termorregulador (42). Mientras que los niveles de la variable hematocrito se encontraron dentro de los niveles de referencia descritos por Merck (2008). Sin embargo, el nivel de hematocrito en *Bos indicus* fue mayor a diferencia de ganado *Bos taurus*. De manera general, la mayor concentración de algunos componentes de glóbulos rojos se encontró en ganado *Bos indicus*, estos componentes son los responsables de ligar el transporte de oxígeno desde los pulmones a los tejidos del organismo, por lo tanto, bajo condiciones de estrés calórico el ganado cebú promueve de manera más eficiente la producción y liberación de estos componentes como una medida de adaptación (42). En general, el área de sombra no afectó de manera importante la fisiología de las vaquillas en su etapa final de la engorda, posiblemente porque fueron animales que ingresaron a la engorda desde la época de primavera, por lo que pudieron adaptarse a las condiciones climáticas cálidas conforme el verano se hizo presente.

3.6. Conclusiones e implicaciones

Las variables hematológicas, electrolitos, metabolitos y hormonas T3 y T4 en vaquillas de engorda en finalización presentaron ligeras diferencias por efecto del área de sombra por animal y genotipo. Es posible que las vaquillas se hayan adaptado al clima cálido, por lo que no exhibieron modificaciones importantes en sus parámetros hematológicos y bioquímicos en respuesta al área de sombra durante el periodo de finalización de la engorda.

3.7. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Coordinación de Posgrado e Investigación de la UABC por el financiamiento brindado a través del proyecto de investigación de Cuerpos Académicos con número de programa 2229. Asimismo, al Sr. Antonio Valdivia Jáuregui, propietario de Corrales Valdivia, en el valle de Mexicali, B.C., por el apoyo recibido durante el presente estudio.

3.8. Bibliografía

1. 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.
2. Avendaño RL, Álvarez FD, Correa CA, Torrentera NG, Torres V, Ray DE. Frecuencia de alimentación e iluminación nocturna y productividad de vaquillas para engorda en verano. Arch Zoot 2011;60(232):1247-1254.
3. Avendaño RL. La Ganadería en Baja California ante el Cambio Climático. Capítulo 4. En: Baja California ante el embate del cambio climático. Editorial UABC. M. Quintero (Ed). Mexicali, B.C., México. 2013.
4. Mitlöhner FM, Gaylean ML, McGlone JJ. Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers. J Anim Sci 2002; 80(8):2043-2050.
5. Barajas R, Garces P, Zinn RA. Interactions of shade and feeding management on feedlot performance of crossbred steers during seasonal periods of ambient temperature. Prof Anim Scient 2013; 29:645-651.
6. Vásquez-Requena ÁG, Sessarego-Dávila EA, Lavallo-Peña GF, Tello-Alarcón VI. Influencia del sistema de enfriamiento sobre la productividad del ganado bovino lecheros en el valle de Huaura, Perú. RIVEP 2017;28 (1):195-200.
7. Silanikove N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. Livest Prod Sci 2000; 67:1-18.

8. Sullivan ML, Cawdell-Smith AJ, Mader TL, Gaughan JB. Effect of shade area on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. *J Anim Sci* 2011;89(9):2911-2925.
9. Duff GC, Galyean ML. Recent advances in management of highly stressed, newly received feedlot cattle. *J Anim Sci* 2007;85(3):823-840.
10. Davis S, Mader TL. Adjustments for wind speed and solar radiation to the temperature humidity index. *Nebraska Beef Cattle Reports* 2003;49-51.
11. Correa CA, Yáñez V, Verdugo F, Avendaño RL. Efecto de un sistema de enfriamiento a espacio abierto en la eficiencia productiva de novillos Holstein durante el verano. *Interciencia* 2004; 29:86-88.
12. Aengwanich W, Kongbuntad W, Boonsorn T. Effects of shade on physiological changes, oxidative stress, and total antioxidant power in Thai Brahman cattle. *Int J Biometeorol* 2011;55(5):741-748.
13. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen. 3ra. Ed. México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México; 1987.
14. Hahn GL. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J Anim Sci* 1999; 77:10-20.
15. SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT® User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
16. Brown-Brandl TM, Nienaber JA, Eigenberg RA, Mader TL, Morrow JL, Dailey JW. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livest Sci* 2006; 105:19-26.
17. Brown-Brandl T, Eigenberg R, Nienaber J, Hahn GL. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of Indicators. *J Biosyst Eng* 2005;90(4):451-462.
18. Gaughan JB, Bonner S, Loxton I, Mader TL, Lisle A, Lawrence R. Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *J Anim Sci* 2010; 88:4056-4067.
19. Wood D, Quiroz-Rocha G.F. Normal hematology of cattle. Douglas JW, Wardrop KJ. *Schalm's Veterinary Hematology*. 6th ed. Ames Iowa, USA: ed Wiley-Blackwell; 2010:829-835.

20. Beatty DT, Barnes A, Taylor E, Pethick D, McCarthy M, Maloney SK. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *J Anim Sci* 2014; 84:972-985.
21. Scharf B, Carroll JA, Riley DG, Chase CC, Coleman SW, Keisler DH, *et al.* Evaluation of physiological and blood serum differences in heat-tolerant (Romosinuano) and heat-susceptible (Angus) *Bos taurus* cattle during controlled heat challenge. *J Anim Sci* 2014;88(7):2321-2336.
22. Wittwer F. Empleo Estratégico de Indicadores Bioquímicos en el Control de Problemas Metabólicos Nutricionales en Bovinos. En: XIII Reunión Científico Técnica. Asociación Argentina de Veterinarios de Laboratorios de Diagnóstico. Merlo, San Luis, Argentina. 2000.
23. Sejian V, Maurya VP, Naqvi SMK. Adaptive capability as indicated by endocrine and biochemical responses of Malpura ewes subjected to combined stresses (thermal and nutritional) in a semi-arid tropical environment. *Int J Biometeorol* 2010; 54:653-661.
24. Ribeiro LN, Ribeiro NM, Bozzi R, Givisiez ENP, Costa GR. Physiological and biochemical blood parameters of goats subjected to heat stress. *J Biomed Environment Sci* 2014; 09:29-35.
25. Ocak S, Darcan N, Cankaya S, Cinal T. Physiological and biochemical responses in German Fawn kids subjected to cooling treatments under Mediterranean climate conditions. *Turk J Vet Anim Sci* 2009;33(6):455-461.
26. Rasooli A, Nouri M, Khadjeh GH, Rasekh A. The influences of seasonal variations on thyroid activity and some biochemical parameters of cattle. *Iran J Vet Res* 2004; 5(2):1383-1391.
27. Research Animal Resources (RAR). Reference values for laboratory animals. University of Minnesota. 2000. www.Ahc.umn.edu/rar/refvalues.html. Accessed November 15, 2017.
28. Bernabuccil U, Lacetera NL, Baumgard H, Rhoads RP, Ronchil B, Nardone A. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *J Anim Consor* 2010;4(7):1167-1183.

29. The Merck Veterinary Manual. 2018. Hematologic Reference Ranges. <https://www.merckvetmanual.com/appendixes/referenceguides/hematologic-reference-ranges>. Accessed December 10, 2017.
30. Todini L, Malfatti A, Valbonesi A, Trabalza-Marinucci M, Debenedetti A. Plasma total T3 and T4 concentrations in goats at different physiological stages, as affected by the energy intake. *Small Ruminant Res* 2007; 68:285-290.
31. Martínez, Y, Chongo B, Pizarro I, Castillo E. Una nota acerca de las concentraciones de hormonas tiroideas de toros de ceba que consumieron *Leucaena leucocephala*. *Rev C Sci Agr* 2001;35(4):379-381.
32. Correa CA, Yañez CVM, Verdugo ZFJ, Avendaño RL, Álvarez AE, Árechiga, *et al.* Respuesta fisiológica y productiva de novillos engordados con un sistema de enfriamiento a espacio abierto en un clima árido y seco. *Tec Pec Mex* 2007;45(3):345-354.
33. Marai, IFM, Haebe AAM. Buffalo's biological functions as affected by heat stress. *Livest Sci* 2010; 127:89-109.
34. Hansen PJ. Physiological and cellular adaptation of zebu cattle to thermal stress. *Anim Reprod Sci* 2004; 82-83:349-360.
35. Bhan C, Singh SV, Hooda OK, Upadhyay RC, Beenam, Vaidya M. Influence of temperature variability on physiological, hematological and biochemical profile of growing and adult Sahiwal cattle. *J Environ Res Develop* 2012; 7(2A):986-984.
36. López EAD, Velásquez LFU, Solarte WN. Bioquímica sanguínea y concentración plasmática de corticosterona en pollo de engorde bajo estrés calórico. *Rev Med Vet* 2014; 28:31-42.
37. Wittwer F, Böhmwald H. Manual de Patología Clínica Veterinaria. Facultad de Ciencias Veterinarias. 1era ed. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile;1983.
38. Cardoso CC, Peripolli V, Amador SA, Brandão EG, Esteves GIF, Sousa CMZ, *et al.* Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livest. Prod Sci* 2005; 182:83-92.

39. Stanger KJ, Ketheesan N, Parker AJ, Coleman CJ, Lazzaroni SM, Fitzpatrick LA . The effect of transportation on the immune status of *Bos indicus* steers. J Anim Sci 2005;83(11):2632-2636.
40. Gutierrez-De La R JH, Warnick AC, Cowley JJ, Hentges J.F. Environmental physiology in the sub-tropics. Effect of continuous environmental stress on some hematological values of beef cattle. J Anim Sci 1971;32(5):968-973.
41. Cunningham JG. Fisiología Veterinaria. 5ta ed. México D.F.: Ed. Elsevier; 2014.
42. Reece WO. Fisiologia dos Animais Domésticos. 12 edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2006.

Cuadro 1. Promedios de variables climáticas registradas en la mañana, en la noche y en el periodo completo durante el estudio (*Agosto a septiembre).

	Mínima diaria			Máxima diaria			Promedio diario		
	HR	Temp	ITH	HR	Temp	ITH	HR	Temp	ITH
10:00 a 19:00 h	34.4	32.7	81.8	49	38	85.6	39.5	36.5	84.6
23:00 a 08:00 h	51.4	26.7	76.4	68.8	34.3	84.4	63	29	79
Periodo completo*	34.4	26.7	76.4	68.8	38	85.6	51.9	32.6	81.7

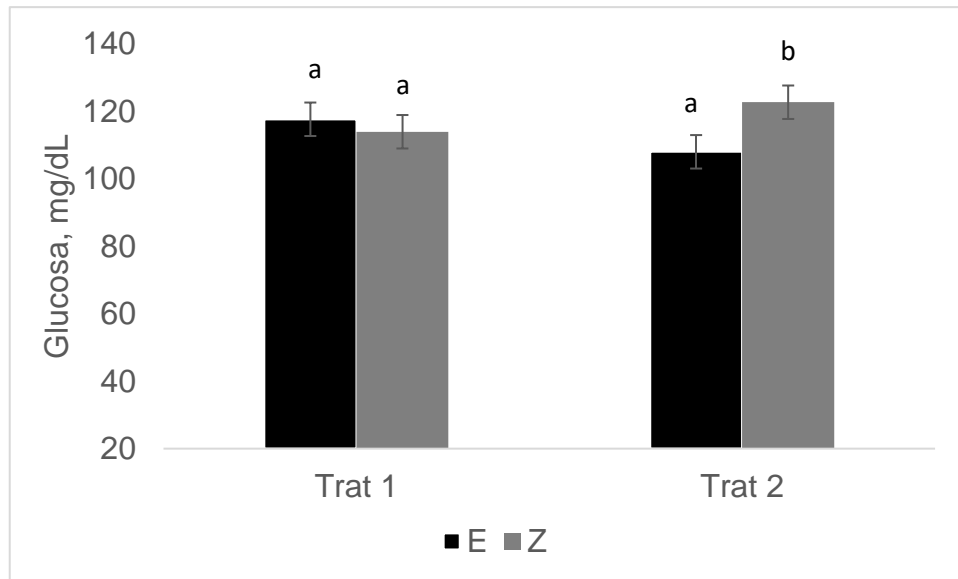
ITH = Índice temperatura-humedad; HR = Humedad relativa; Temp = Temperatura

Cuadro 2. Concentraciones séricas de electrolitos y metabolitos en vaquillas *Bos indicus* y *Bos taurus* sujetos a dos diferentes áreas de sombra.

Variables	Área de sombra			Genotipo		
	1	2	EE	EUROPEO	CEBÚ	EE
K+, mmol/L	5.0	4.88	0.08	4.88	5.00	0.88
Na+, mmol/L	134.9 ^b	132.3 ^a	0.63	133.2	134.0	0.64
Cl ⁻ , mmol/L	108.8 ^a	110.0 ^b	0.23	109.7	109.1	0.24
Colesterol, mg/dL	240.0	225.5	6.53	228.9	236.6	6.69
Proteína total, mg/dL	7.91	7.98	0.04	7.89	7.99	0.04
Triglicéridos, mg/dL	36.19	33.27	1.50	34.52	34.94	1.54
Urea, mg/dL	21.45 ^b	19.68 ^a	0.50	20.22	20.91	0.50

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

Figura 1. Concentraciones de glucosa en vaquillas *Bos indicus* y *Bos taurus* sujetas a dos diferentes áreas de sombra



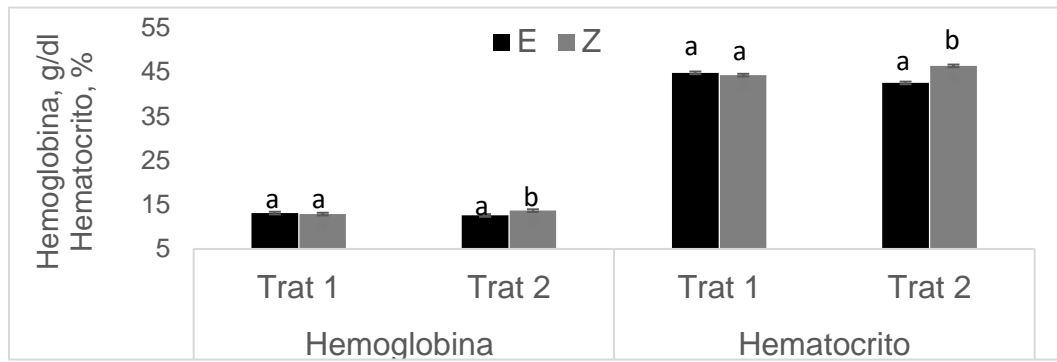
(^a_b) Medias con distintas literales difieren ($P < 0.05$ E=europeo, Z=cebú).

Cuadro 3. Variables hematológicas en vaquillas *Bos indicus* y *Bos taurus* sujetas a dos diferentes áreas de sombra.

Variables	Área de sombra			Genotipo		
	1	2	EE	EUROPEO	CEBÚ	EE
Glóbulos blancos, X 10 ⁹ /L	9.13	9.03	0.32	8.43 ^a	9.72 ^b	0.32
Linfocitos, X 10 ⁹ /L	3.98	4.36	0.17	3.78 ^a	4.56 ^b	0.17
Monocitos, X 10 ⁹ /L	0.83	0.82	0.03	0.79	0.85	0.03
Granulocitos, X 10 ⁹ /L	4.31 ^b	3.84 ^a	0.16	3.85 ^a	4.30 ^b	0.16
Linfocitos, %	43.62 ^a	47.89 ^b	0.92	45.11	46.38	0.93
Monocitos, %	9.48	9.20	0.18	9.74 ^b	8.94 ^a	0.18
Granulocitos, %	46.51 ^b	43.11 ^a	0.90	44.92	44.69	0.89
Glóbulos rojos, X 10 ¹² /L	9.18	9.41	0.15	9.12	9.47	0.15
VCM, X 10 ¹⁵ /L	48.61	47.44	0.51	48.21	47.84	0.51
HCM, Pg	14.12	13.94	0.15	14.12	13.94	0.15
CCMH, g/dL	29.18	29.51	0.14	29.43	29.26	0.14
Volumen de plaquetas, X 10 ¹⁵ /L	4.94	4.94	0.04	4.85 ^a	5.02 ^b	0.04
ADTP,%	16.13	16.19	0.05	16.16	16.15	0.05
Plaquetas, X 10 ⁹ /L	380.2	396.0	29.3	387.2	389.0	29.6
Plaquetocrito, %	0.18	0.20	0.01	0.19	0.19	0.01
Triiodotironina, g/dL	1.14 ^a	1.29 ^b	0.03	1.18	1.26	0.03
Tiroxina, g/dL	5.62	5.79	0.1	5.59	5.83	0.1

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

Figura 2. Concentraciones de hemoglobina y hematocrito en vaquillas *Bos indicus* y *Bos taurus* sujetas a dos diferentes áreas de sombra



^{a b} medias con distintas literales difieren ($P < 0.05$; E=europeo, Z=cebú).

CAPITULO IV. ARTICULO 2

Shade area and genotype in feedlot heifers: physiological and performance parameters during heat stress

(Enviado a la revista Journal of Thermal Biology)

4.1. Abstract

Heat stress is a great challenge for feedlot operations established in arid zones. This study evaluated the effects of shade area and genotype on physiological and productive variables in feedlot heifers under condition of heat stress. A total of 510 European and Zebu heifers were randomly assigned to six pens which were divided in two treatments: 1) three pens with 100 heifers each with a shade area of 2.7 m²/head (Control group [C]); and 2) three pens with 70 heifers each with a shade area of 3.7 m²/head (Treated group [T]). Respiratory frequency (RF) and body surface temperature (BST) of several anatomic regions were taken from 30 heifers per treatment (i.e. 10 heifers/pen). Feed intake on pen basis was recorded weekly and heifers were individually weighted on days 1, 26, and 66 of the study to calculate performance variables. Relative humidity (RH) and ambient temperature (AT) were recorded and used to estimate the temperature-humidity index (THI). Data was analyzed with analysis of variance. The average THI during the study was 81.7 units, which was categorized as dangerous heat stress. In both shaded areas, European heifers showed higher ($P < 0.05$) RF than Zebu heifers. In the afternoon, the temperature of head, neck, loin, paddle and belly were higher ($P < 0.05$) in C compared with T. Heifers under T showed better ($P < 0.05$) daily weight gain (DWG), total weight gain (TWG), feed conversion (FC), and feed efficiency (FE) than heifers in C, with no effect on dry matter intake (DMI). Results indicate that during hot summer months, Zebu showed more tolerance to heat stress than European heifers; however, heifers under a shade area of 3.7 m²/head had better productive performance than those under a shade area of 2.7 m² /head during the finishing phase of the feedlot.

Key words: Heifers, respiratory frequency, *Bos indicus*, *Bos taurus*, surface temperature.

4.2. Introduction

Our planet earth is experimenting pronounced climatic changes that have conducted to a significant global warming. This climatic phenomenon is putting at risk the food security world-wide because of their negative impact on livestock productivity (Gerber et al., 2013; Wheeler and Von Braun, 2013). The northwestern region of México, as well as the southern zone of the United States of America, are characterized as arid land ecosystems and subjected to extended periods of high ambient temperature that lead to the physio-pathological condition known as heat stress (HS). In these arid and semiarid regions, feedlot production facilities have established since resources necessary for fattening (water, forages and grain) are available to support the beef meat industry. However, episodes of longer and more frequent heat waves during summer months are causing important economic losses to this industry (Theusme et al., 2021).

Heat stress avoids feedlot cattle to maintain their body temperature in a normal range, thus decreasing their capacity of growing and fattening. In general, biological responses of cattle to HS include reduced feed intake, increasing respiration frequency and heart rate, changes in behavior, and redistribution of blood flow to the periphery (Mader et al., 2006). Brown-Brandl (2018) indicates that the degree of HS that feedlot cattle experience is variable and complex, being affected by the combination of three factors: climatic conditions, individual animal susceptibility, and management practices performed in the feedlot. Under intensive beef production, feedlot cattle increase their body temperature derived from feeding high energy density rations, especially in the finishing period during summer months (Curtis et al., 2017). The use of shades during extreme heat events become a basic management practice for feedlots established in arid zones; even more, shade can be essential in determining whether cattle die under this scenario, especially for *Bos taurus* cattle and dark color animals (Gaughan et al., 2010). During summer, shade is the minimum protection against environmental outdoor weather in feedlots and their objective is to reduce the direct solar radiation, diminishing the heat load on cattle (Eigenberg et al., 2005). However, there is no specific shade area that provides the best result for feedlot cattle since results have varied across studies. Edwards-

Callaway et al. (2012) recommended a shade area above 1.8 m²/animal in order to effectively protect feedlot cattle, depending on HS severity. Also, Barajas et al. (2013) conducted studies evaluating two different shade areas using crossbred steers under moderate HS conditions, reporting that providing 3.3 m²/head feed intake was improved in 5% and daily weight gain in 9%; however, providing 2.4 m²/head, daily weight gain increased 14% and gain efficiency 10%. Sullivan et al. (2011) evaluated different shade areas (0, 2, 3.3 y 4.7 m²/animal) using Black Angus cattle in a feedlot, finding that just for using shade, animal welfare and feed efficiency were improved; however, they also found that providing a shade area higher than 2 m²/head did not cause an improvement in performance variables. Those results demonstrate that providing shade to feedlot cattle under HS conditions can improved animal welfare and animal performance. Nevertheless, the knowledge about the adequate shade area for feedlot cattle is limited. We hypothesized that in extreme HS conditions, providing higher shade area positively affects animal physiology and performance. Therefore, the objective of this study was to compare the effect of using two shaded areas per pen (2.7 and 3.7 m²/head) on physiological parameters and productive performance of Zebu and European heifers finished during hot and dry conditions.

4.3. Material and methods

Study protocols and procedures involving heifer management and treatments were approved in accordance with local official standards of animal care (NOM-051-ZOO-1995: Humanitarian treatment of animals during mobilization; and NOM-062-ZOO-1999, technique specifications to production, care, and use of laboratory animals). Furthermore, we also considered the approved guidelines established by the Federation Animal Science Society (FASS, 2010). Finally, the Animal Care Committee of the UABC supervised the compliance of the methods and procedures performed.

4.3.1. Location and duration of the study

The study was conducted in a commercial feedlot situated in the rural community named Ejido Saltillo, in the Mexicali Valley, state of Baja California, México. Its

geographical location is 32°25'27" north latitude and 115°07'30" west longitude. This region belongs to the Sonoran Desert ecosystem, so its weather is dry, arid and extreme; very hot in summer (> 45°C) and very cold in winter (< 0°C). As a desert, their precipitation average is extremely low reaching an annual average of just 86 mm, which is concentrated in December and January (INEGI, 2017). The study covered the hottest period of the year, from July to September, with a duration of about 66 d.

4.3.2. Animals, treatments, and facilities

Heifers arrived to the feedlot in spring season for a fattening of about 90 to 100 d in pens. The experiment included 510 heifers in the finishing phase of the fattening with an average live weight of 432 ± 28 kg at the beginning of the study. Heifers were weighted and then randomly allocated to one of six drylot pens, three pens that provided a shade area of 2.7 m²/head (C, control group) and the other three that provided a shade area of 3.7 m²/head (T, treated group). All pens had dimensions of 30 x 30 m and the shade area was 30 x 6.35 m in C (70 heifers/pen) and 30 x 12.3 m in T (100 heifers/pen). Control pens had a space per animal of 9 m², while treated pens of 12.9 m²/head. Orientation of the pens and shades was N-S and the material used in the roof of the shade structure was a native plant adapted to the local climate of this desert region called Cachanilla (*Pluchea sericea*). Each pen had linear feed bunks placed in the east side and automatic waterers.

4.3.3. Heifer's genotype

In general, 3 genotypes were identified in each pen: *Bos indicus*, *Bos taurus* and its crosses. Given that the latest category had few heifers per pen, animals with well-defined traits of *Bos indicus* and *Bos taurus* genotypes were considered. For *Bos indicus* genotype (Zebu cattle), heifers with grey or white in body color, pendulous and hanging ears, and a hump above their shoulders were selected. In the case of *Bos taurus* genotype, heifers of the continental breeds Charolaise or Simmental were selected (European cattle). So the heifer's genotype was considered as the second factor with two levels, Zebu (Z) and European (E) cattle.

4.3.4. Feeding and diet composition

Feeding was offered to the heifers twice a day (07:00 and 14:30 h) and the diet consisted of steam flake corn (71.5%), dry distillers grain (12%), sweet sorghum silage (10%), alfalfa hay (4%) and a mineral mixed (2.5%). The diet has 85% of dry matter and the chemical composition reported 12.3% of PC, 5.6% of ash, and 6.03% of ether extract. Water was provided *ad libitum* using automatic waterers inside the pens.

4.3.5. Experimental procedure

The study started on July 25th, and heifers were weighted on days 1 and 66 of the experimental period in a scale-livestock trap. Physiological variables were respiration frequency (RF) and body surface temperature (BST), which were measured in 30 heifers randomly selected from each treatment, that is, ten heifers per pen, twice a week (Thursday and Friday) and twice a day (08:00-10:00 [AM] and 13:00-15:00 [PM] h). From the selected heifers, 15 were *Bos taurus* and 15 *Bos indicus* genotypes.

4.3.6. Collection of response variables

Hygrothermographs were placed in the feedlot and were programmed to register ambient temperature (AT) and relative humidity (RH) every 15 min. The temperature-humidity index (THI) was calculated for the sampling times using the formula proposed by Hahn (1999):

$$ITH = 0.81 * AT + RH / 100 * (AT - 14.4) + 46.4$$

Physiological variables measured were respiration frequency (RF) and body surface temperatures (BST); RF was measured counting the number of breaths per minute (bpm) using a manual counter and a stopwatch. The BST was the average surface temperature of the following body sites: head, nose, eye, paddle, neck, loin, rump, and belly. The body surface temperatures were obtained by taking infrared thermal imaging with a thermographic camera (Fluke Ti10, Everett, WA, USA) at a 1.0 to 1.5-m distance. This camera has an emissivity of 0.98, accuracy of $\pm 2^{\circ}\text{C}$, thermal

sensitivity of ≤ 0.05 °C at 30°C, and resolution of 320 x 240 pixels. All digital thermal images were transferred into the thermographic imaging software Fluke Smart View® 3.9, and the average temperature of each body region was recorded. Productive performance was assessed by measuring initial, and final body weights (BW), dry matter intake (DMI), total weight gain (TWG), average daily gain (ADG), and feed efficiency (FE). Individual BW was recorded before the morning feeding at the beginning, and end of the fattening period; with this information, TWG (final BW – initial BW) and ADG (TWG/66 d) were calculated. Offered and refused amount of feed was also registered in pen basis 5 days of every week during the study and this data was used to estimate DMI. The FE was calculated obtaining the ADG:DMI ratio. Productive performance variables were estimated for the total animals in the study.

4.3.7. Statistical analysis

Climatic variables were summarized using descriptive statistics thorough PROC MEANS of SAS (SAS, 2004). Physiological variables (RF and BST) were analyzed under 2³ factorial arrangement of treatments being the factors: shade area (SA: C and T), heifers genotype (G: E and Z), and time of the day (T: AM and PM). All interactions among the main effects were considered in the analysis. Performance variables were analyzed using a completely randomized design with subsampling, considering the pen nested in shade area. Physiological and productive variables were analyzed with PROC GLM of SAS and the means were compared using the PDIF/STDERR option considering 5% of error (SAS, 2004).

4.4. Results and discussion

4.4.1. Climatic variables

Table 1 shows the descriptive statistics for the climatic variables. During the day (10:00 – 19:00 h) the average maximum AT and THI registered were 38°C and 85.6 units, while the average minimum 32.7°C and 81.8 units. In this period of time of the day, the average values for AT and THI were 36.5°C and 84.6 units, and the RH ranged from 34.4 to 49% with an average of 39.5%. During the night (21:00 – 04:00 h), the average THI drop to 78.5 units and the AT to 28.6°C. According to the

classification of the heat stress intensity for feedlot cattle, Brown-Brandl *et al.* (2016) indicate that the starting point for heat stress is 74 units of THI; at this point, managers should take measures to avoid a greater heat load to the animals. This classification includes a range of THI of 79 to 84 units categorized as “danger situation”, and more than 84 units as “emergency situation”. This latter category is considered the highest heat stress scenario for feedlot animals. Curtis *et al.* (2017) mention that the ambient temperature at which feed intake and rumen function starts to decrease in feedlot cattle is around 25°C. However, in the present study the minimum average AT registered was 26.8°C, which is higher than this threshold. Furthermore, the average THI registered was 81.7 units, so heifers experienced heat stress conditions most of the days during this part of the summer and is categorized as danger. Climatic conditions during summer months in arid zones can result in very hot periods that lead to productivity losses and a negative impact on animal welfare. Brody (1956) mentioned that the thermoneutral zone for *Bos taurus* cattle fluctuated between – 1 and 16°C, while for *Bos indicus* breeds oscillated between 10 and 27°C. We can note that minimum temperature registered in this experimental period was slightly higher than the maximum temperature of the thermoneutral zone for *Bos indicus* cattle, whereas *Bos taurus* cattle was in a constantly heat stress condition. Feedlot cattle are recognized as very susceptible animals to heat stress because two important reasons: 1) feedlot is a livestock operation where animals are confined in outdoor pens, so management and feeding occurs outside in open corrals where the dirty dark soils may reach more than 50°C during hot summer months; 2) feeding of these animals consists of diets with high grain content directed to obtain high body condition of the animals, so they have great metabolic heat production (Eigenberg *et al.* 2005; Brown-Brandl *et al.*, 2006). In order to reduce the heat load during summer months, an environmental strategy is providing shade, which has the function of blocking direct solar radiation (Gaughan *et al.*, 2010).

4.4.2. Physiological variables

The triple interaction S x G x T was not significant ($P > 0.05$) for any physiological variable. So results for the physiological variables will be discussed by double interactions and main effects, if is the case.

4.4.3. Respiration frequency

Respiration frequency was affected ($P < 0.05$) by the interactions S x G and G x T, and the treatment combinations are showed in Figure 1. Zebu heifers allocated under either 2.7 or 3.7 m² of shade area had lower ($P < 0.05$) RF than European heifers. This same pattern of those genotypes was observed by time of the day, since RF was lower in Z than in E heifers during the morning and afternoon. Even though climatic conditions were considered without heat stress during the morning in the present study, RF was significantly higher for E heifers compared to Z heifers. This result suggest that European heifers did not recover from the hot weather experimented during the daytime of the day before. The difference in RF during the morning was 10 bmp between E (67 bmp) and Z heifers (57 bmp), while during the afternoon the difference increased to 18 bmp (E=89 vs Z=71 bmp). The higher RF during the evening hours are mainly a response to the predominant hot ambient conditions and also to current and carryover heat effects from earlier in the afternoon. The Z heifers maintained the same RF (64 bmp) under both shade areas, while E heifers had RF significantly higher RF than Z heifers in both shade areas (C=75 and T=81 bmp). In general, *Bos indicus* have shown great adaptation to different climatic conditions, especially those related to hot and humid environments. In addition, zebu cattle are recognized to have better thermoregulatory ability in response to heat stress than European cattle because of their ability to loss heat and it lower metabolic heat production (Hansen, 2004). Climatic conditions during the present study are categorized as dry and very hot as an arid region located in the ecosystem Sonoran Desert. These conditions are not the best for European breeds of cattle since they are better adapted to cold and temperate environments (Cardoso *et al.*, 2015). Franco-Pereira *et al.* (2014) indicate that this great ability of zebu cattle to cope with heat stress largely depends on sweating rate because this type of cattle keeps sweating

even at very high temperatures, while *Bos taurus* breeds stabilizes its sweating rate when rectal temperature reaches 40°C. Moreover, sweating rate of *Bos indicus* cattle progresses without an apparent plateau, which confer higher capacity to maintain homeothermy under severe climatic conditions. However, Gaughan and Mader (2013) pointed out that cattle use the physiological mechanism of panting when sweating rate was not enough to dissipate the accumulated heat load in the body. In the present study, Z genotype showed its greater tolerance to heat stress compared to E heifers not only by time of the day, but also under the two shaded areas. On this particular subject, Behl et al. (2010) summarized the physiological, metabolic and genetic advantages of *Bos indicus* to tolerate heat stress conditions when compared with *Bos taurus* breeds: greater perimeter and higher density of sweat glands which results in higher sweating rate; its lower metabolic rate that lead to a smaller amount of heat produced during their digestive and metabolic routes; and the presence of higher activity of a candidate heat tolerance gene (Heat Shock Factor 1) at cellular level that mediates the metabolic rate and immune system activation, which favors its adaptation to heat stress.

4.4.4. Body surface temperatures

The interaction genotype (E and Z) x time of the day (AM and PM) significantly affected ($P < 0.05$) the temperature of the anatomical sites head, neck, loin, shoulder, and belly (Figure 2). On the other hand, temperatures of the eye, rump, and snout were affected ($P < 0.05$) only by the main effects shade area (C and T), time of the day (AM and PM), or genotype (E and Z); these results are showed in Table 2. Overall, despite the genotype or the shade area, the temperature of every anatomical site was consistently higher ($P < 0.05$) during the afternoon than during the morning. During the afternoon, the temperature of the neck was higher ($P < 0.05$) in E heifers than Z heifers (38.8 vs 38.4 °C). However, during the morning, Z heifers had higher ($P < 0.05$) loin and belly temperature than E heifers (36.3 vs 35.9 °C, and 37 vs 36.3 °C for loin and belly, respectively). According to the results of main effects, Z heifers showed higher ($P < 0.05$) temperature in rump (38.17 vs 37.53 °C) and snout compared to E heifers (36.6 vs 36.0 °C). The average BST ranged from 35.5 and

40.7 °C, and the measure of variation was in general less than 0.5 °C. These results are lower than those presented by Salles et al. (2016) under thermoneutral conditions, who reported values between 23.8 and 36.9 °C. This difference is attributed to the difference in the average THI registered in the two studies (81.7 vs 64.34 units). Emerging technologies for assessing effects of heat stress include the use of infrared thermography (ITR), which have been widely used to evaluate physiological responses of animals to severe ambient conditions, especially heat stress (Knizkova et al., 2007; Tattersall, 2016). According to Salles et al. (2016), the skin temperature of cattle is about 5 °C lower than body core temperature and the ITR technology is capable to perceive small changes in temperature. Unruh et al. (2017) evaluated the use of IRT to predict heat stress in feedlot heifers, finding a high correlation coefficient between mean BST and panting score, since as panting score increased, BST also increased. The authors concluded that IRT resulted in an objective technique to monitor heat stress in beef calves. In mammals, extremities have been indicated as one of the most important anatomical regions where transfer of heat is performed (Bouzida et al., 2009). Whittow (1962) pointed out that under ambient temperatures inside the thermoneutral zone, (between -5 and 25 °C), variations in the skin temperature of extremities were largely variable; however, at ambient temperatures above 25 °C, this variation in skin temperature was significantly reduced. So the great differences observed in the present study between AM and PM in average BSTs, especially in the extremities, are attributed to variations in blood flow, since these anatomical sites are considered of high blood irrigation. In the present study, temperature of head was the highest BST registered, followed by loin, shoulder and belly; all these sites exhibited their values during the afternoon and in both genotypes. Consequently, temperature of head can be considered as the temperature more related to rectal temperature. On the other hand, loin, shoulder and belly temperatures were considered high since they are related to fermentation from the rumen and to some exposure to the sun or other surfaces as soil, feces and urine (Montanholi et al., 2008).

4.4.5. Production performance

Growth performance parameters by shade area are presented in Table 3, where it is noted that as the shade area increases, productive performance improves ($P < 0.05$). However, E and Z heifers showed similar performance parameters. Even though DMI was similar in both shaded areas, heifers allocated in a shade area of 3.7 m² showed higher ($P < 0.05$) TWG (69.03 vs 59.13), ADG (1.070 vs 0.924 kg), ADG:DMI (0.135 vs 0.117 units), and FC (7.42 vs 8.52 kg) than heifers under 2.7 m², respectively. So heifers under the highest amount of shade during the last 66 d of her finishing period gained more weight (average and total), consumed the same amount of feed and were more efficient to convert the feedstuff consumed in body tissue compared to heifers under less amount of shade. On the other hand, although Z heifers had lower RF than E heifers, this physiological increase did not cause a significant imbalance in the ratio of heat loss to heat production or gain, thus productive performance was similar between genotypes. Shading has demonstrated to be an effective environmental strategy to decrease the negative physiological and behavioral effects on feedlot cattle (Mitlöhner et al., 2001). Even more, during conditions of heat stress, the use of shade has proven great benefits in final body weight, ADG, and carcass weight in feedlot cattle, and therefore a significant impact on economic profit (Blaine and Nsahlai, 2011). The main objective of the use of shades is to protect cattle from solar radiation, and less than 2 m²/animal of shade area is not recommended, since the better responses have been observed with shade areas higher to 3 m²/animal, especially for *Bos taurus* cattle (Mader and Griffin, 2015). From this background we defined the levels used in the factor shade area, since 2.7 m²/animal is the normal shade area in the commercial feedlot. Advantages in productive performance are also due to the fact that animals under larger shade area show less aggressive behavior, so they can focus on feeding more time; as a result, spend less energy in other activities as interactions with other animals (Schütz et al., 2009). Sullivan et al. (2011) observed no difference in ADG, carcass weight and dressing percentage comparing three shade areas (2.0, 3.3, and 4.7 m²/animal); however, feed efficiency in 2.0 and 3.3 m²/animal was better than animals under 4.7 m² of shade. The authors concluded that shade did not totally remove the effect of heat stress on feedlot Black Angus

heifers. Also, Gaughan (2008) found that cattle under a shade area of 4.7 m²/animal had lower DMI but better ADG and ADG:DMI ratio than cattle under 2.0 and 3.3 m²/animal, concluding that shade had economic advantages over no shade or shade areas below 4.7 m²/animal. In our study, even though differences by genotype were not detected, a higher shade area resulted in better productive performance of feedlot heifers. These results, along with the physiological Results obtained in the present study are crucial for the feedlot industry to develop management strategies that help to diminish body heat losses and then to improve productive performance in cattle finished in outdoor feedlots. Similarly, to understand more precisely how heat losses through the skin in heifers is regulated during the summer months.

4.5. Conclusions

In conclusion, heat stress from climatic variables in the study site was considered as danger, which makes cattle to adjust physiological mechanisms to keep eating and gaining weight under outdoor confinement conditions. Zebu heifers showed better thermoregulation than European genotype heifers during the finishing period. Heifers under a shade area of 3.7 showed better productive performance than heifers allocated in 2.7 m²/animal. Larger shade area is recommended for arid zones with high ambient temperatures during summer months to improve performance and welfare of feedlot cattle.

4.6. Conflict of interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References

Barajas, R., Garcés, P., Zinn, R., 2013. Interactions of shade and feeding management on feedlot performance of crossbred steers during seasonal periods of high ambient temperature. *Prof. Anim. Sci.* 29, 645-651. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30296-5](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30296-5)

- Behl, R., Behl, J., Joshi, B., 2010. Heat tolerance in cattle-status in zebu cattle: A review. *Indian J. Anim. Sci.*, 80, 1-12. <http://epubs.icar.org.in/ojs-2.3.1-2/index.php/IJAnS/article/view/893>
- Blaine, K.L., Nsahlai, I.V., 2011. The effects of shade on performance, carcass classes and behavior of heat-stressed feedlot cattle at the finisher phase. *Trop. Anim. Health Prod.*, 43, 609–615. [http:// doi: 10.1007/s11250-010-9740-x](http://doi:10.1007/s11250-010-9740-x)
- Bouzida, N., Bendada, A., Maldague, X.P., 2009. Visualization of body thermoregulation by infrared imaging. *J. Therm. Biol.* 34, 120–126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2008.11.008>
- Brody, S., 1956. Climatic physiology of cattle. *J. Dairy Sci.* 39, 715-725.
- Brown-Brandl, T.M., R.A. Eigenberg, Nienaber, J.A., 2006. Heat stress risk factors of feedlot heifers. *Livest. Sci.* 105, 57–68. <https://dx.doi:10.1016/j.livsci.2006.04.025>
- Brown-Brandl, T., Chitko-McKown, C.G., Eigenberg, R.A., Mayer, J.J., Welsh Jr., T.H., Davis, J.D., Purswell, J.L. 2016. Physiological responses of feedlot heifers provided acces to different levels of shade. *Animal*, 1-10. <https://dx.doi.org/10.1017/S1751731116002664>
- Brown-Brandl, T.M., 2018. Understanding heat stress in beef cattle. *Rev. Bras. Zootec.*, 47:e20160414. <https://doi.org/10.1590/rbz4720160414>
- Cardoso, C.C., Peripolli, V., Amador, S.A., Brandão, E.G., Esteves, G.I.F., Sousa, C.M.Z., França, M.F.M.S., Gonçalves, F.G., Barbosa, F.A., Montalvão, T.C., Martins, C.F., Fonseca-Neto, A.M., McManus C., 2015. Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livest. Sci.* 83-92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2015.10.022>
- Curtis, A.K., Scharf, B., Eichen, P.A., Spiers, D.E., 2017. Relationships between ambient conditions, thermal status, and feed intake of cattle during summer heat stress with access to shade. *J. Thermal Biol.* 63, 104-111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.11.015>
- Edwards-Callaway, L. N., Cramer, M. C., Cadaret, C. N., Bigler, E. J., Engle, T. E., Wagner, J. J., Clark, D. L., 2020. Review: Impacts of shade on cattle well-being in the beef supply chain. *J. Anim. Sci.*, 99, 1-21. <https://doi:10.1093/jas/skaa375>

- Eigenberg, R.A., Brown-Brandl, T.M., Nienaber, J.A., Hahn, G.L., 2005. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, part 2: predictive relationships. *Biosystems Engineering* 91, 111–118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.02.001>
- FASS Federation Animal Science Society, 2010. Guide for the care and use of agricultural animals in agricultural research and teaching. Savoy, IL, USA.
- Franco-Pereira, A.M., Titto, E.L., Infante, P., Titto, C.G., Geraldo, A.M., Alves, A., Leve, T.M., Baccari Jr., F., Almeida, J.A., 2014. Evaporative heat loss in *Bos taurus*: Do different cattle breeds cope with heat stress in the same way? *J. Thermal Biol.* 45, 87-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.08.004>
- Gaughan, J.B., 2008. Assessment of varying allocations of shade area for feedlot cattle - part 2 (182 days on feed) final report. Meat and Livestock Australia Limited.
- Gaughan, J.B., Bonner, S., Loxton, I., Mader, T.L., Lisle, A., and Lawrence, R., 2010. Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 88, 4056–4067. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-2987>
- Gaughan, J.B., Mader, T.L., 2013. Body temperature and respiratory dynamics in unshaded cattle. *Int. J. Biometeorol.* 58, 1443-1450. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0746-8>
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G., 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Hahn, G.L., 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77 (Suppl. 2), 10-20. https://doi.org/10.2527/1997.77suppl_210x
- Hansen, P.J., 2004. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Anim. Reprod. Sci.* 82-83, 349-360. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.011>
- INEGI, 2017. Anuario estadístico y geográfico de Baja California. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825094874.pdf.

December 18, 2020.

- Knížková, I., Kunc, P., Gürdíl, G.A.K., Pinar, Y., Selví, K.Ç., 2007. Applications of infrared thermography in animal production. *J. Fac. Agric.* 22, 329–336.
- Mader, T. L., Davis, M.S., Brown-Brandl, T.M., 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84, 712–719. <https://doi:10.2527/2006.843712x>
- Mader, T.L., Griffin, D., 2015. Management of cattle exposed to adverse environmental conditions. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Prac.*, 31, 247-258. <https://doi:10.1016/j.cvfa.2015.03.006>.
- Mitlöhner, F.M., Morrow, J.L., Dailey, J.W., Wilson, S.C., Galyean, M.L., Miller, M.F., McGlone, J.J., 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 79, 2327–2335. <https://doi:10.2527/2001.7992327x>
- Montanholi, Y.R., Odongo, N.E., Swanson, K.C., Schenkel, F.S., McBride, B.W., Miller, S.P., 2008. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *J. Thermal Biol.* 33, 468-475. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30337-5](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30337-5)
- SAS institute, 2004. SAS/STAT: User's Guide Statistics Released 9.1, 2nd ed. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.
- Salles, M.S.V., da Silva, S.C., Salles, F.A., Roma, L.C., El Faro, L., Bustos Mac Lean, P.A., De Oliveira, C.E.L., Martello, L.S., 2016. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. *J. Thermal Biol.*, 62, 63-69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.10.003>
- Schütz, K.E., Rogers, A.E., Poulouin, Y.A., Coz, N.R., Tucker, C.B., 2009. The amount of shade influences the behavior and physiology of cattle. *J. Dairy Sci.*, 93, 125-133. <http://doi:10.3168/jds.2009-2416>
- Sullivan, M.L., Cawdell-Smith, A.J., Mader, T.L., Gaughan, J.B., 2011. Effect of shade area on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 89, 2911-2925. <http://doi:10.2527/jas.2010-3152>
- Tattersall, G.J., 2016. Infrared thermography: A non-invasive window into thermal

physiology. *Comp. Bioch. Physiol. Part A*, 202, 78-98. [https://doi:10.1016/j.cbpa.2016.02.02](https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2016.02.02)

Theusme, C., Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Vargas-Villamil, L., Vicente-Pérez, A., 2021. Climate change vulnerability of confined livestock predicted using bioclimatic indexes in an arid region of México. *Sci. Tot. Environ.*, 751:141779. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141779>

Unruh, E.M., Theurer, M.E., White, B.J., Larson, R.L., Drouillard, J.S., Schrag, N., 2017. Evaluation of infrared thermography as a diagnostic tool to predict heat stress events in Feedlot cattle. *Am. J. Vet. Res.*, 78, 771-777. [https://doi:10.2460/ajvr.78.7.771](https://doi.org/10.2460/ajvr.78.7.771)

Wheeler, T., Von Braun, J., 2013. Climate change impacts on food security. *Science*, 341, 508-513. [https://doi:10.1126/science.1239402](https://doi.org/10.1126/science.1239402)

Whittow, G.C., 1962. The significance of the extremities of the ox (*Bos taurus*) in thermoregulation. *J. Agric. Sci.*, 58, 109-120. <https://doi.org/10.1017/S002185960000887X>

Cuadro 4. Table 1. Minimum, maximum and mean daily averages of climatic variables (RH, AT, and THI) in three periods of time (daylight, darkness, and total) during the study.

Period	Daily minimum			Daily maximum			Daily average		
	RH	AT	THI	RH	AT	ITH	RH	AT	THI
Daylight	34.4	32.7	81.8	49	38	85.6	39.5	36.5	84.6
Darkness	57	26.8	76.6	67.9	30.8	80.7	63.4	28.6	78.5
Total	34.4	26.7	76.4	68.8	38	85.6	51.9	32.6	81.7

RH: Relative humidity (%), AT: Ambient temperature (°C), THI = Temperature-humidity index (units). Daylight = 10:00 to 19:00 h; Darkness = 21:00 to 04:00 h; Total = Complete day, 24 h.

Cuadro 5. Table 2. Averages and standard errors of main effects for some body surface (rump, eye, snout) temperatures in feedlot heifers during the fattening period.

Item	Shade area			Time of the day			Genotype		
	C	T	SE	AM	PM	SE	E	Z	SE
Rump	37.97 ^a	37.73 ^a	0.09	36.56 ^a	38.44 ^b	0.10	37.53 ^a	38.17 ^b	0.09
Eye	37.89 ^a	37.48 ^a	0.10	36.93 ^a	38.44 ^b	0.10	37.58 ^a	37.80 ^a	0.10
Snout	36.37 ^a	36.23 ^a	0.08	35.58 ^a	37.03 ^b	0.08	36.00 ^a	36.60 ^b	0.08

^{ab} Averages with different letter per row differ (P<0.05).

C = Control (shade area of 2.7 m²); T = Treated (shade area of 3.7 m²); AM = morning;

PM = afternoon; E = European; Z = Zebu.

Cuadro 6. Table 3 Averages and standard errors for productive performance traits of

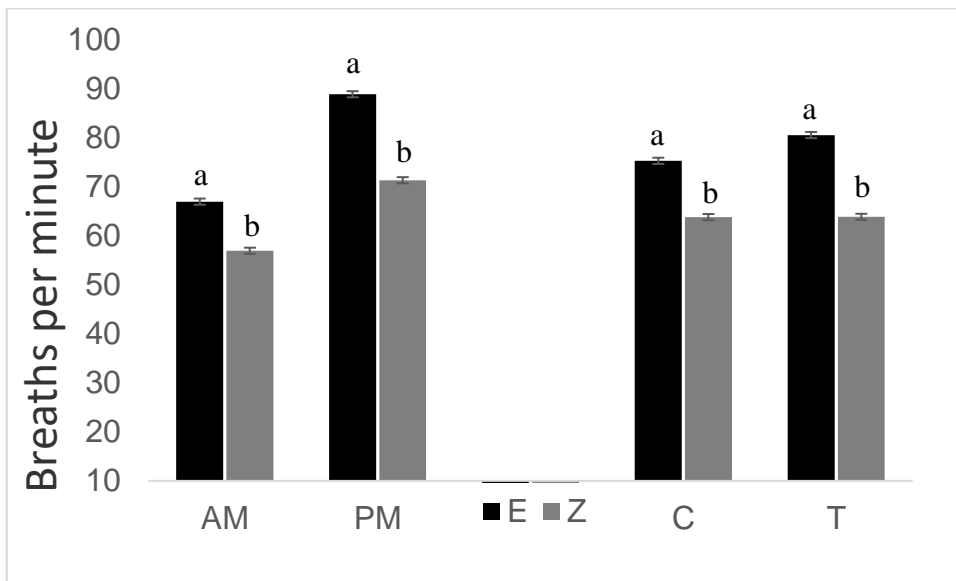
Item	Z	E	SE	Control	Treated	SE
TWG	62.42	63.71	3.43	59.13 ^a	69.03 ^b	2.89
ADG	0.963	0.918	0.047	0.924 ^a	1.070 ^b	0.044
Feed Intake	7.86	7.92	0.075	7.87 ^a	7.94 ^a	0.026
Feed conversion	8.98	9.10	0.055	8.52 ^a	7.42 ^b	0.49
Feed efficiency	0.123	0.116	0.007	0.117 ^a	0.135 ^b	0.003

heifers subjected to two different shade areas.

^{ab} Row averages with different letter differ ($P < 0.05$);

TWG= Total weight gain; ADG= Average daily gain. Z=Zebu, E= European

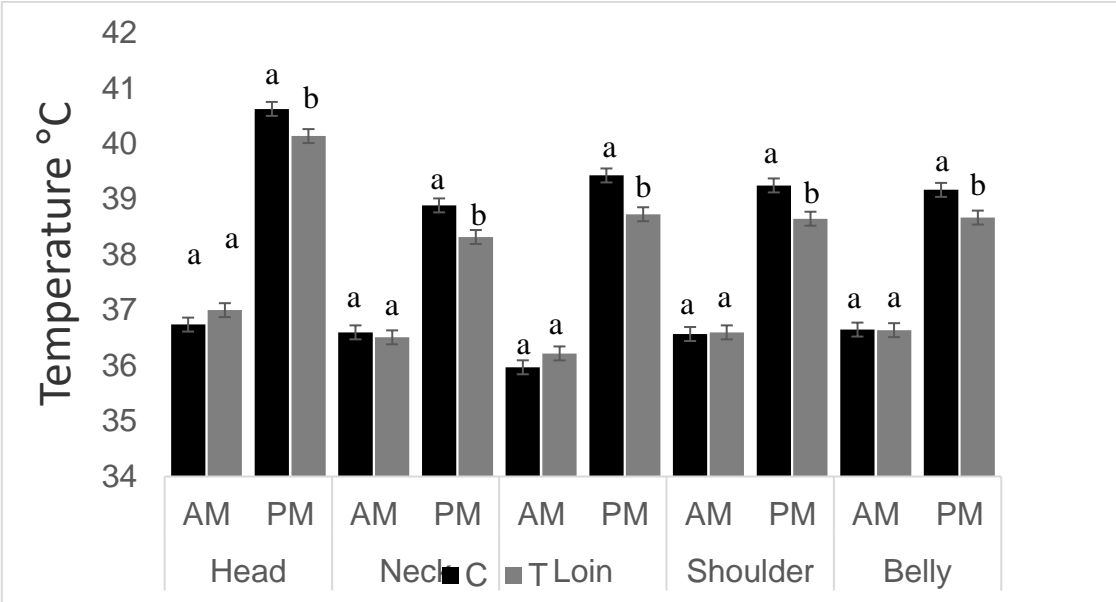
Figura 3. Figure 1. Interactions genotype (E and Z) x time of the day (AM and PM) and shade area (C and T) x genotype on respiration frequency of feedlot heifers during the fattening period.



AM= Morning, PM = Afternoon; E = European, Z=Zebu; C=Control, T=Treated

^{ab} Bars of means with different letters indicate significant differences ($P<0.05$)

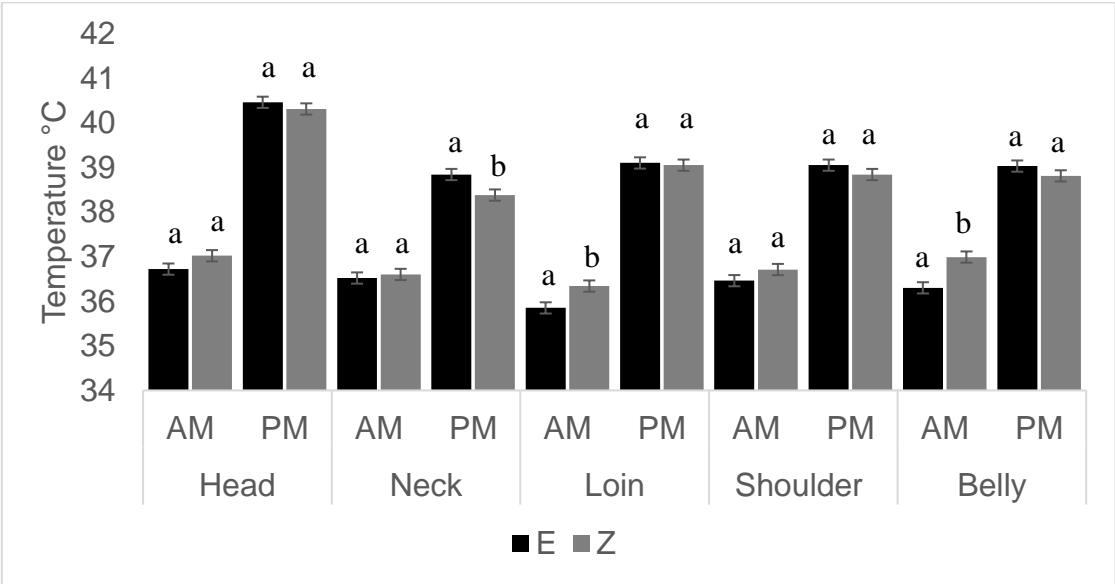
Figura 4. Figure 2. Interactions Treated (C and T) x time of the day (AM and PM) on some body surface temperatures of feedlot heifers during the fattening period.



AM= Morning, PM = Afternoon; C=Control, T=Treated

^{ab} Bars of means with different letters indicate significant differences ($P < 0.05$)

Figura 5. Figure 3. Interaction genotype (E and Z) x time of day (AM and PM) for some body surface (head, neck, loin, shoulder, and belly) temperatures of feedlot heifers during the fattening period.



AM = morning; PM = afternoon; E = European; Z = Zebu.

^{ab} Averages within time of the day with different letter differ (P<0.05).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados mostraron que las variables hematológicas, electrolitos, metabolitos y hormonas T3 y T4 en vaquillas de engorda en finalización presentaron ligeras diferencias por efecto del área de sombra por animal y genotipo. Es posible que las vaquillas se hayan adaptado al clima cálido, por lo que no exhibieron modificaciones importantes en sus parámetros hematológicos y bioquímicos en respuesta al área de sombra durante el periodo de finalización de la engorda. Sin embargo, proporcionar mayor área de sombra redujo significativamente la FR y mejoró el desempeño en corral, es importante reconocer que los ajustes fisiológicos que hace el animal ante situaciones de estrés calórico, repercuten directamente sobre el desempeño productivo debido al costo energético que tienen por hacer uso de las capacidades termorreguladoras. Bajo este planteamiento se probó que proveer mejores condiciones ambientales mejora el desempeño productivo, esto debido a que se considera al estrés calórico como una problemática que se tiene que tomar en cuenta por las dificultades que presentan los bovinos bajo estas zonas durante el verano. Se recomienda un área de sombra más grande para las zonas áridas con altas temperaturas ambientales durante los meses de verano para mejorar el rendimiento y el bienestar del ganado en corral de engorda.