

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Instituto de Ciencias Agrícolas



**EFFECTO DEL TIPO DE SOMBRA SOBRE VARIABLES HEMATOLÓGICAS Y
BIOQUÍMICAS EN GANADO CEBÚ Y EUROPEO ENGORDADO EN CORRAL
BAJO ESTRÉS CALORICO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA:

ARNULFO VICENTE PEREZ

DIRECTOR DE TESIS:

Ph.D. LEONEL AVENDAÑO REYES

MEXICALI, B.C., MEXICO

AGOSTO DE 2016

La presente tesis "EFECTO DEL TIPO DE SOMBRA SOBRE VARIABLES HEMATOLÓGICAS Y BIOQUÍMICAS EN GANADO CEBÚ Y EUROPEO ENGORDADO EN CORRAL BAJO ESTRÉS CALORICO" fue realizada por **C. Arnulfo Vicente Pérez**, dirigida por **Ph.D. Leonel Avendaño Reyes**, ha sido evaluada y aprobada por el Consejo Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el título de:

Maestro en Ciencias en Sistemas de Producción Animal

Consejo particular



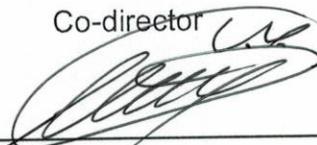
Ph. D. Leonel Avendaño Reyes

Director de tesis



Dr. Juan Eulogio Guerra Liera

Co-director



Dr. Ulises Macías Cruz

Secretario



Ph. D. Abelardo Correa Calderón

Sinodal

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por los logros obtenidos, por estar conmigo en todo momento dándome fuerzas para llegar a este logro.

A la Universidad Autónoma de Baja California, al Instituto de Ciencias Agrícolas y a CONACYT, gracias por darme la oportunidad de pertenecer y formar parte de esta gran casa de estudios, por brindarme la dicha de culminar este trabajo de investigación.

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

A mis asesores Dr. Juan Eulogio Guerra, Dr. Ulises Macías Cruz, Dr. Abelardo Correa, gracias por formar parte en mi formación y gracias también por inspirarme el deseo de aprender.

Un agradecimiento a todos los profesores y trabajadores del ICA, que con el apoyo brindado durante mi estancia en esta institución pude lograr culminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida.

DEDICATORIAS

A mi padre **Melitón Vicente García** + que siempre me inspiro confianza, me apoyo en mis decisiones, y que además me ha dejado la mejor de las familias.

A mi madre **Guadalupe Pérez García**, que me ha apoyado incondicionalmente en todo momento, por haber tenido la confianza en mí, y por la paciencia y amor que me has tenido para enseñarme el camino. Gracias Mama.

A mis hermanos **Melitón Vicente Pérez, Antonio Vicente Pérez, Rogelio Vicente Pérez y Ricardo Vicente Pérez**, por el apoyo que me han brindado y por todos los buenos consejos que me han servido de mucho para seguir adelante, ustedes han contribuido mucho para ser lo que ahora soy y mis logros son sus logros, a donde quiera que voy siempre los llevo conmigo.

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE.....	v
LISTA DE CUADROS.....	vii
LISTA DE GRÁFICAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Producción de bovinos de engorda en México.....	3
2.2. Estrés calórico en bovinos.....	4
2.3. Respuestas fisiológicas del ganado al estrés calórico.....	8
2.3.1. Hormonas tiroideas.....	8
2.3.2 Metabolitos sanguíneos.....	10
2.3.3 Electrolitos sanguíneos.....	12
2.4.5 Componentes hematológicos.....	13
2.4. Estrés calórico y genotipo del animal.....	17
2.5. Estrategias de mitigación de estrés calórico.....	19
2.5.1. Uso de sombras.....	21
2.5.2. Sistemas de enfriamiento.....	23
2.5.3. Ventilación forzada.....	23
2.5.4. Aspersión de agua.....	24

2.5.5. Ventilación y aspersión	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. Descripción del área y duración del estudio	26
3.2. Animales y corrales experimentales	26
3.3. Tratamientos (tipos de sombra)	26
3.4. Registro de variables	27
3.4.1. Variables climáticas	28
3.4.2. Metabolitos sanguíneos.....	29
3.4.3. Electrolitos sanguíneos	29
3.4.4. Componentes hematológicos	30
3.5. Diseño experimental	30
4. RESULTADOS	31
4.1 Datos climáticos	31
4.2 Componentes hematológicos	35
4.3 Metabolitos sanguíneos.....	37
4.4 Electrolitos sanguíneos	38
5. DISCUSIÓN	39
5.1 Datos climáticos	39
5.2 Componentes Hematológicos	40
5.2.1. Glóbulos blancos	40
5.2.2. Glóbulos rojos	42
5.2.3. Plaquetas	43
5.3 Electrolitos sanguíneos.....	44
5.4 Metabolitos Sanguíneos	45
6. CONCLUSIONES	49
7. LITERATURA CITADA.....	50

LISTA DE CUADROS

1	Valores hematológicos de bovinos adultos bajo condiciones termo- neutrales, según distintos autores.....	16
2	Promedios y errores estándar de variables hematológicas en toros <i>Bos</i> <i>indicus</i> y <i>Bos taurus</i> sujetos a cuatro tipos de sombra.....	36
3	Promedios y errores estándar de metabolitos sanguíneos en toros <i>Bos</i> <i>indicus</i> y <i>Bos taurus</i> sujetos a cuatro tipos de sombra.....	37
4	Promedios y errores estándar de electrolitos sanguíneos en toros <i>Bos</i> <i>indicus</i> y <i>Bos taurus</i> sujetos a cuatro tipos de sombra.....	38

LISTA DE FIGURAS

- 1 Promedios por hora de temperatura ambiental (TxH), humedad relativa (HR) e índice temperatura-humedad (ITH) durante el periodo experimental a la altura de la cabeza en los diferentes tratamientos..... **32**

- 2 Promedios por hora de temperatura ambiental (TxH), humedad relativa (HR) e índice temperatura-humedad (ITH) durante el periodo experimental en techo en los diferentes tratamientos..... **34**

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar el efecto del tipo de sombra y genotipo sobre variables hematológicas y bioquímicas en toretes de finalización bajo estrés calórico moderado. Un total de 804 toros (*Bos taurus*, *Bos indicus* y sus cruzas) se asignaron aleatoriamente a 12 grupos experimentales (n=67) y posteriormente se aleatorizaron a 4 tratamientos de sombra (3 grupos/tratamiento): 1) Testigo (T), corrales con sombra estándar (1.3 m²/animal); 2) Doble sombra (DS), corrales con más del doble de sombra del testigo (2.6 m²/animal); 3) Domo sin abanico (DSA), corral con solamente sombra tipo domo (8.5 m²/animal); 4) Domo con abanico (DCA), corrales con sombra de lona tipo domo (8.5 m²/animal) y tres abanicos. El estudio se realizó en otoño y duró 32 d. Se registró el peso vivo al inicio y final del experimento y al mismo tiempo se colectaron muestras de sangre (30 animales/tratamiento) para análisis de hematología, metabolitos y electrolitos. Los datos se analizaron bajo un arreglo factorial 4x2 en un diseño completamente al azar. El volumen corpuscular medio de ganado europeo en T fue menor (P<0.05) comparado con el resto de los tratamientos. El ganado europeo tuvo mayor (P<0.05) concentración de leucocitos, pero menor (P<0.05) concentración de hemoglobina corpuscular media (HCM) y volumen de plaquetas en comparación con cebú. Los toros en DS tuvieron menor (P<0.05) concentración de plaquetas que toros en DCA y DSA, pero similar (P>0.05) a los toros T. Los niveles de colesterol y urea fueron menores (P<0.05) en ganado europeo en relación al cebú. Los electrolitos y el resto de las variables no fueron afectadas (P>0.05) por el genotipo ni por el tipo de sombra. No obstante el ganado europeo presentó mayores alteraciones hematológicas y bioquímicas, no se encontraron evidencias

suficientes para demostrar que el estrés calórico moderado comprometa la salud animal, dado que los valores de las variables evaluadas se encontraban en niveles normales.

Palabras clave: Sombra, estrés por calor, hematología, electrolitos, metabolitos.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effect of shade type and cattle genotype on hematologic and biochemical variables of finishing steers under moderate heat stress in a commercial feedlot. A total of 804 bulls (*Bos Taurus*, *Bos indicus* and its crosses) were randomly assigned to 12 experimental groups (n=65), which were randomized to four shade treatments (3 groups/treatment): 1) Control (T), pens with standard shade (1.3 m²/animal); 2) Double-shaded (DS), pens with more than the double of the shade in T (2.6 m²/animal); 3) Dome without fans (DSA), pens covered with shade type dome (8.5 m²/animal); and 4) Dome with fans (DCA), pens covered with shade type dome (8.5 m²/animal) and with three fans. The study was conducted during autumn season for 32 d. The initial and final live weight were registered and at the same time blood samples were collected (30 animals/treatment) for hematologic, metabolites and electrolytes analysis. Data was analyzed under a 4x2 factorial arrangement using a completely randomized design. The medium corpuscular volume (VCM) in European cattle under T was lower (P<0.05) than the other treatments. In addition, European cattle had higher leucocytes concentration, but lower HCM and platelets volume compared with Cebu cattle (P<0.05). The DS cattle had lower (P<0.05) platelets concentration than DCA and DSA bulls, but similar (P> 0.05) to T bulls. Lower cholesterol and urea concentrations (P<0.05) were observed in European relative to Cebu cattle. The electrolytes and the remaining variables were unaffected by genotype or shade type. Even though European cattle showed higher hematologic and biochemical alterations, we did not observed enough evidence to demonstrate that moderated heat stress endanger the health of bulls, given that values of

hematological and biochemistry variables showed concentrations classified as normal.

Keywords: Shade, heat stress, hematology, electrolytes, metabolites.

1. INTRODUCCION

Los cambios en los patrones climáticos, como consecuencia de innumerables actividades humanas a través de los años, se ha traducido en el calentamiento global, es decir, en el incremento en la temperatura ambiental en varias regiones del mundo, particularmente en regiones tropicales. En producción animal, el Cambio Climático ha cobrado importancia en las últimas décadas porque la elevada temperatura ambiental afecta directamente al bienestar animal (CCAC, 2009). El bienestar animal se puede definir como el estado en el que se encuentra un animal que trata de adaptarse a su medio ambiente (Broom, 1986), y se puede clasificar a través de medidas como cambios en concentraciones hormonales, metabolitos, electrolitos, temperatura corporal y conducta natural (Silanikove, 2000). La combinación de alta temperatura ambiental y humedad relativa provoca una carga excesiva de calor, exponiendo al ganado a la condición adversa conocida como estrés calórico (Avendaño et al., 2011). Aunado a eso, el ganado bovino se considera como animal homeotermo debido a que tiene la capacidad de mantener relativamente constante su temperatura corporal, en una amplia gama de condiciones ambientales extremas.

El perfil hematológico y bioquímico de los bovinos sufre alteraciones cuando son expuestos a diversas situaciones de estrés. Algunos estudios han mostrado cambios en los niveles de glucosa, en parámetros relacionados con glóbulos rojos y con la población de glóbulos blancos en respuesta al estrés experimentado por factores como transportación (Earley et al., 2006), destete (Bueno et al., 2003) o subalimentación (Costa-Gomes et al., 2011). El ganado bovino responde al estrés calórico de diferentes maneras y el aumento en la frecuencia respiratoria y la

evaporación de líquidos para refrescarse son los principales métodos fisiológicos que utiliza para termorregular su temperatura corporal, intentando entrar en la zona confort térmico (Harmer *et al.*, 2000). Por otra parte, en condiciones de estrés por calor los animales engordados en corral presentan un aumento en el consumo diario de agua, que generalmente disminuye el consumo de materia seca. El incremento total de agua en el cuerpo se asocia a variaciones en la cantidad de sangre circulante en el organismo y a la tasa a la cual ésta se evapora de la piel y del tracto respiratorio (Richards, 1973); estas modificaciones en las cantidades de sangre circulante en el organismo traen como consecuencia alteraciones en los parámetros hematológicos, bioquímicos y hormonales (Sullivan *et al.*, 2011).

El conocimiento de las alternativas para mitigar el impacto negativo del estrés calórico sobre los animales es un factor predisponente del éxito de la ganadería en ambientes cálidos. Las estrategias más comúnmente utilizadas para modificar el ambiente son el uso de sombras y los sistemas de enfriamiento (Buffington *et al.*, 1983), teniendo como objetivo reducir la carga calórica que recibe el animal, mejorando su confort y productividad. Sin embargo, el uso de sombra en corrales ha sido la estrategia más adoptada por los productores debido a que es barata y reduce el impacto de la radiación solar de forma directa, de tal forma que ayuda a disminuir la carga de calor que los animales reciben. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar la efectividad de cuatro diferentes tipos de sombras sobre algunas variables hematológicas y bioquímicas en ganado de carne engordado en corral.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Producción de bovinos de engorda en México

En México se destinan cerca de 110 millones de Ha a la actividad ganadera, lo que representa alrededor del 56 % del territorio nacional, por lo que la ganadería bovina cumple con una gran diversidad de funciones productivas, económicas, ecológicas, sociales y culturales, desarrollándose en todo el territorio nacional, aunque con diferente importancia e intensidad (ASERCA, 2010). En nuestro país, los estados del sureste (Veracruz, Tabasco, Chiapas, entre otros) son los principales productores de becerros. Posteriormente, los becerros son desarrollados y engordados en el resto del país, principalmente en estados del norte de México (SAGARPA, 2012).

La ganadería bovina en México representa una de las principales actividades del sector agropecuario por la contribución que realiza a la oferta de productos cárnicos, así como su participación en la balanza comercial del país. Su importancia trasciende a las demás especies, ya que debido a los patrones culturales de consumo de los diferentes productos cárnicos, la carne de bovino es el eje ordenador de la demanda y de los precios de las demás carnes. Tan sólo en el año 2012, el número de cabezas de ganado de carne a nivel nacional fue de 29, 526, 542, con una producción total de 1' 820, 547 toneladas de carne en canal, lo que constituyó el 30.5% de la oferta de carnes en el país (SIAP, 2013).

Estos números hacen que la carne de res ocupe el primer sitio por valor económico y el segundo por tipo de carne más consumida a nivel nacional después de la carne de ave. En 2014, los cinco principales estados productores

de carne hasta el mes de noviembre fueron Veracruz (13.5%), Jalisco (11.3%), Chiapas (6.2%), Sinaloa (4.9%) y Baja California (4.6%). Sinaloa ocupó el cuarto lugar con una producción de 84, 243 toneladas y un pronóstico para cerrar el año con 91, 524 toneladas de carne en canal de bovino (SIAP, 2014).

2.2. Estrés calórico en bovinos

Los gases de efecto invernadero liberados a la atmósfera como consecuencia de innumerables actividades humanas han provocado cambios en los patrones climáticos a través de los años. Dicho fenómeno ha derivado en el calentamiento global, es decir, en el incremento en la temperatura ambiental en varias regiones del mundo, particularmente en regiones tropicales. Se ha reportado que desde 1970 la temperatura atmosférica se ha incrementado 0.6 °C (Allison et al., 2009), proyectándose por década un incremento de 0.2 °C, o bien, se ha predicho que para el 2099 la temperatura incrementará alrededor de 1.8 °C (IPCC, 2007). En este sentido, se han empleado diversas acciones en los últimos años como intentos para revertir y mitigar los efectos negativos de la temperatura ambiental elevada.

En producción animal, el Cambio Climático ha cobrado importancia en las últimas décadas, ya que la temperatura ambiental elevada afecta directa e indirectamente la producción y el bienestar animal (CCAC, 2009; Yousef, 1985). Indirectamente, la producción ganadera es afectada a través de la disminución en el nivel y calidad de forraje producido en praderas y agostaderos como resultado de disminución en la precipitación pluvial y la presencia de sequías. Directamente, el incremento de la temperatura ambiental afecta el equilibrio térmico de los animales, y como consecuencia, la temperatura corporal interna se incrementa,

provocando estrés calórico en el ganado. En tales condiciones, el estado inmunológico se deprime y por consecuencia el bienestar animal es afectado, lo cual repercute en baja productividad.

El estrés calórico se define como la incapacidad que tiene el animal para mantener la homeostasis corporal, o bien, pérdida en la capacidad de los animales para mantenerse en homeotermia. En general, en cualquier tipo de estrés, el agente biológico que lo produce induce en los animales un estado de alerta y, por consecuencia, afecta sus constantes fisiológicas (Morberg, 2000). Es común que los mamíferos, incluyendo los rumiantes, experimenten incremento en la temperatura corporal en respuesta a distintos factores climáticos como temperatura ambiental, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento (Hahn et al., 2003). No obstante, la temperatura ambiental es el factor que mayor influencia tiene sobre el desarrollo del estrés calórico.

En términos generales, se ha descrito una zona de confort térmico para el ganado, siendo entre 4 y 27°C de temperatura ambiental para el bovino (Yousef, 1985). Esta zona termo-neutral es el rango óptimo de temperatura ambiental en el cual el animal no realiza ningún esfuerzo físico o fisiológico adicional para mantener su temperatura corporal, de tal manera que cuando la temperatura rebasa dicho límite, el animal comienza a experimentar signos de estrés calórico. Cabe destacar que en condiciones de termoneutralidad, los bovinos presentan una temperatura corporal entre 38.3 y 39.4°C. En estas condiciones, las actividades celulares y bioquímicas se desarrollan con mayor eficiencia (Arias et al., 2008).

Los animales pueden diferir en su zona de confort térmico, ya que entre las especies o entre las razas existen peculiaridades que los hacen más resistentes o

susceptibles al estrés calórico. De esta forma, cada individuo expresa su potencial biológico a ciertas temperaturas a pesar de ser de la misma especie (Hoffman, 2010). Por ejemplo, la temperatura ambiental adecuada para el ganado *Bos taurus* es 25°C (CCAC, 2009; Navas, 2010; Cony et al; 2004), mientras que para ganado *Bos indicus* la zona óptima de temperatura ambiental es 27°C (Navas, 2010).

Cuando la temperatura ambiental rebasa la zona de confort térmico, los animales enfrentan el insulto térmico a través de modificaciones fisiológicas, conductuales y de comportamiento (Arias et al., 2008). Dentro de las modificaciones de comportamiento se tienen el mayor consumo de agua y la reducción del consumo de alimento, mientras que las modificaciones de la conducta (como búsqueda de sombra), entre otras, contribuyen también a mantener la temperatura corporal. Además, cuando las temperaturas ambientales se elevan, los rumiantes, en este caso los bovinos, hacen uso de su capacidad homeotérmica para mantener su temperatura corporal interna dentro de parámetros normales. Es decir, regulan su temperatura corporal con respecto a la del medio ambiente a través de procesos fisiológicos de termoregulación (Silanikove, 2000). Estos procesos fisiológicos, o bien los mecanismos de termorregulación, incluyen mecanismos sensibles (sudoración, respiración) e insensibles (radiación, convección y conducción) de pérdidas de calor (Silanikove, 2000). Por ejemplo, uno de los principales mecanismos utilizados por los bovinos para perder calor es activar la frecuencia respiratoria. Al aumentar la frecuencia respiratoria se incrementa la ventilación de las vías por las cual circula el aire, por tanto, favorece la evaporación del agua del tracto respiratorio, ayudando al enfriamiento corporal (Hall et al., 2000). De esta forma, podemos identificar

animales que están padeciendo de algún tipo de estrés según la frecuencia respiratoria que experimentan (Silanikove, 2000). El rango normal de frecuencia respiratoria son 60 exhalaciones por minuto, el cual se considera en la escala de jadeo como normal o escala de jadeo 1 (Mader et al., 2006). Sin embargo, también se han creado índices para identificar los grados de estrés ambiental que los animales pueden afrontar.

El índice más común para identificar condiciones de estrés calórico incluye en su ecuación la temperatura y la humedad relativa ambiental, el cual se conoce como índice temperatura- humedad (ITH). En bovinos de carne se han propuesto diferentes índices: índice de temperatura-humedad (Thom, 1959), ITH ajustado por velocidad del viento y radiación solar (Mader et al., 2006), índice de humedad de globo negro (Buffington, 1981) e índice de carga de calor (Gaughan et al., 2008). Cabe mencionar que dichos índices han sido desarrollados exclusivamente para épocas de verano con el fin de identificar los cambios en la conducta y desempeño productivo del ganado en condiciones de elevadas temperaturas, lo cual comúnmente ocurre en dicha época (Arias et al., 2008).

Nienaber y Hanh (2007) propusieron una clasificación del estrés calórico según el ITH. Si el ITH es menor o igual a 74 unidades, se considera que no existe estrés por calor, o bien, el animal se encuentra en condiciones de confort; cuando el ITH es mayor a 74 unidades indica condiciones de estrés; estado de alerta entre 75 y 78 unidades; peligro entre 79 y 83; y de amenaza cuando el ITH es mayor o igual a 84 unidades. Cuando el ITH se encuentra en la etapa de peligro y emergencia se considera que el animal se encuentra en estrés calórico severo porque son incapaces de mantener sus mecanismos termorregulatorios. En este

sentido, la caracterización del ambiente térmico permite conocer las condiciones de estrés calórico (normal o de confort, de estado de alerta, peligro o emergencia) en el que los animales se desenvolverán y cómo podrían responderán al ambiente en curso (Gaughan et al., 2008).

En resumen, cuando las variables ambientales se combinan y alcanzan valores superiores a la zona termo-neutral, los animales entran a un estado de estrés calórico. En estas condiciones, se activan respuestas fisiológicas y de comportamiento para reducir la carga calórica. Entre ellas se incluye el incremento en el consumo de agua y en frecuencia respiratoria, así como reducción en el consumo de alimento. Estos eventos reducen la producción de calor metabólico y favorecen los mecanismos de enfriamiento para mantener la temperatura interna del cuerpo con respecto a la temperatura ambiente. Sin embargo, cuando el estrés es prolongado, los animales comienzan un proceso llamado aclimatación al calor, el cual modifica procesos metabólicos, hormonales y bioquímicos en la sangre (Bernabucci et al., 2010).

2.3. Respuestas fisiológicas del ganado al estrés calórico

2.3.1. Hormonas tiroideas

El funcionamiento adecuado de la glándula tiroidea y la actividad de las hormonas tiroideas se considera esencial para la producción de los animales (carne, leche, piel, pelo, entre otras). Las hormonas tiroideas, triyodotironina (T3) y tiroxina (T4), tienen un rol indispensable en varias reacciones bioquímicas y su acción la ejercen sobre varios tejidos musculares (esquelético, cardíaco, hepático y renal; Todini et al., 2007). Estas hormonas se consideran indicadores del estado metabólico y nutricional de los animales, de tal manera que si no existe suficiente

secreción de ellas, pueden desencadenarse problemas de hipotiroidismo, lo que genera consecuencias negativas en el bienestar y producción de los animales. Las principales consecuencias negativas son la pérdida del apetito, reducción del crecimiento, anemia y consecuentemente disminución del peso corporal (Martínez et al., 2001).

La secreción de las hormonas tiroideas puede ser afectada por factores ambientales como la alimentación y la temperatura. En condiciones de elevada temperatura ambiental, los animales, como estrategia termorregulatoria, disminuyen las concentraciones de hormonas tiroideas a fin de promover una reducción en el consumo de alimento. De esta manera, a través de la disminución de la actividad de hormonas tiroideas se reduce la producción de calor metabólico, lo cual contribuye a la reducción a la carga calórica en los animales (Correa-Calderón et al., 2007; Correa-Calderón, 2010). Así, la actividad muscular y en general el metabolismo de los animales se ve deprimido, lo cual, a su vez, reduce la productividad de los animales.

En base lo anterior, se considera que existe una estrecha relación entre las concentraciones de hormonas tiroideas y la ingesta de alimentos. Algunos estudios han demostrado que las bajas concentraciones de hormonas tiroideas no son consecuencia de la baja ingesta de alimentos (Pereira et al., 2007). Más bien, la disminución en el consumo de alimento es el resultado de un complejo neuro-endocrino relacionado con las interacciones secuenciales entre sensores térmicos de las glándulas hipotálamo, hipófisis y tiroides (Silanikove, 2000). El incremento de la temperatura corporal del animal estimula receptores térmicos que transmiten impulsos nerviosos supresores al centro del apetito en el hipotálamo, de esta

manera se liberan factores inhibidores de tirosina que actúan a nivel de hipófisis anterior, la cual conlleva a una reducción de la hormona estimulante de la tiroides. Así, se afecta negativamente a nivel de glándula tiroidea la secreción de las hormonas T3 y T4, las cuales se encargan de regular el metabolismo y, por consecuencia, se estimule la reducción del consumo de alimento y del metabolismo basal (Silva, 2000).

Los animales sometidos a estrés calórico con restricción de alimento reducen sus niveles de hormonas tiroideas, por lo que la sinergia entre la reducción de consumo y el estrés calórico reducen los niveles de hormonas tiroideas (Collier, 1981). Correa-Calderón et al. (2007) reportaron mayores concentraciones de hormona T3 y ganancias de peso en animales que se encontraban en estrés calórico bajo condiciones de sombra y enfriamiento con respecto a aquellos que solo tenían sombra. Este resultado se atribuye a que probablemente existió un aumento en el metabolismo basal. Marai y Haebe (2010), en un estudio realizado con búfalos, encontraron que animales bajo estrés calórico durante la temporada de verano redujeron sus niveles de T3 y T4 en comparación con la época de primavera, en condiciones de temperaturas normales. En este sentido, la disminución de las concentraciones de T3 en plasma durante las épocas de alta temperatura puede ser la causa por lo cual los animales disminuyen sus ganancias diarias de peso (Habeeb et al., 2007).

2.3.2. Metabolitos sanguíneos

El estudio de los perfiles metabólicos se utiliza como una herramienta para el diagnóstico del balance nutricional en los animales, esto a través de la evaluación de indicadores metabólicos como los metabolitos sanguíneos (Wittwer, 2000). Los

parámetros bioquímicos sanguíneos más evaluados en los animales son la glucosa y el colesterol, los cuales están fuertemente relacionadas con el metabolismo de la energía. En tanto, la urea y la proteína total están relacionadas con el metabolismo de proteínas (Ribeiro et al., 2014). Los niveles de metabolitos sanguíneos en los animales pueden variar de acuerdo la raza, la edad, estado fisiológico, alimentación y las condiciones climáticas.

La cuantificación de metabolitos sanguíneos y hormonas metabólicas proveen evidencias de la capacidad de adaptación de un animal a los cambios ambientales mediante la alteración de su actividad metabólica (Sejian et al., 2010a). En condiciones de estrés calórico los niveles sanguíneos de glucosa y colesterol disminuyen (Ribeiro, 2013). Evidentemente, la disminución sugiere una inminente falla en la homeostasis celular y de los tejidos corporales (Sejian et al., 2010b). No obstante, la disminución de los niveles plasmáticos de glucosa pueden estar relacionadas con el incremento en la utilización de glucosa para producción de energía como un intento por cubrir los requerimientos de la actividad muscular (Rasooli et al., 2004). Cabe destacar que los niveles plasmáticos de glucosa están regulados por el hígado, tejidos extra-hepáticos y algunas hormonas relacionadas con el estrés como la adrenalina, cortisol, T3 y T4. Por lo tanto, la disminución de glucosa en sangre puede ser una respuesta paralela a la actividad metabólica de otros parámetros sanguíneos.

Los triglicéridos y el colesterol son dos grupos de lípidos importantes que se encuentran en el plasma sanguíneo. Cuando existen deficiencias en la producción de glucosa, los triglicéridos son movilizados para ser utilizados como fuente de energía (Payne y Payne, 1987). No obstante, el colesterol es el lípido que se

encuentra en mayor cantidad porque es producido en todas las células del cuerpo, principalmente en la corteza adrenal y epitelio intestinal. En animales sometidos a temperaturas elevadas, las concentraciones de colesterol son muy importantes debido a que los ácidos grasos son utilizados como energía por una inminente disminución de las concentraciones de glucosa en sangre (Mundim et al., 2007). En un estudio realizado por Shehab et al. (2010), se observó que los cambios metabólicos están directamente asociados al estrés por calor. Esto debido a que en condiciones de estrés calórico, los niveles de algunos metabolitos sanguíneos como (glucosa, colesterol, triglicéridos y proteína) pueden encontrarse en niveles más bajos por efecto de la temperatura ambiental.

2.3.3. Electrolitos sanguíneos

El potasio (K^+) se encuentra principalmente dentro de las células (aproximadamente el 90% del K^+ corporal es intracelular) y se relaciona con el movimiento del sodio (Na^+) a través de sistemas de energía. El potasio, el sodio y el cloro (Cl^-) aparecen distribuidos en los tejidos animales y realizan una importante función en la regulación osmótica de los líquidos del organismo y en el mantenimiento de equilibrio ácido-base (Samanc, 2011). El K^+ interviene en la excitabilidad nerviosa y muscular, participando en el metabolismo de los carbohidratos (McCutcheon, 2007). El sodio es el principal catión del líquido extracelular y por su acción osmótica desempeña el papel dominante para la regulación de la homeostasis de fluidos corporales y el exceso de este electrolito se excreta principalmente por los riñones (Abdel-Fattah 2014). La homeostasis de los diferentes electrolitos es severamente afectada por diversas circunstancias. El estrés calórico ocasiona la liberación de catecolaminas, entre otras hormonas, las

cuales promueven en los animales síndrome de hipomagnesemia (Sandoval et al., 1997). Macías-Cruz et al. (2015) encontraron que en ovejas de pelo bajo estrés calórico se presentó una disminución en K^+ y un decremento en Cl^- , sin afectar las concentraciones de Na^+ en sangre. Otro trabajo realizado por Singh et al. (2012) encontraron que en búfalos jóvenes sometidos a estrés calórico, los niveles de los electrolitos K^+ Na^+ y C^- disminuyeron, lo cual fue el resultado de una mayor sudoración, como un intento para disipar el calor por medios evaporativos. Contrario a los autores anteriores, Abdel-Fattah (2014) reportó que cabras sometidas a condiciones de estrés calórico incrementan significativamente los niveles plasmáticos de Na^+ y K^+ . Los incrementos de las concentraciones de electrolitos en los fluidos corporales de los animales expuestos al calor reducen su capacidad termorregulador por medios evaporativos, incrementando de esta manera el calor corporal (Silanikove, 1993). Las concentraciones de electrolitos en sangre pueden presentar variaciones por efecto del cambio de temperaturas a través del día, como un estímulo del organismo a un cambio de temperatura (Scaglione et al., 2003).

2.3.4. Componentes hematológicos

Otro estudio importante para conocer el estado de salud y metabólico de los animales es el mapeo de los perfiles hematológicos, ya que el equilibrio fisiológico de los animales ocurre a través del torrente sanguíneo. Los principales componentes hematológicos son leucocitos (Leu), linfocitos (Lin), monocitos (Mon), granulocitos (Gran), glóbulos rojos (Rbc), hemoglobina (Hb), hematocrito (Htc), entre otros. Dentro de la hematología sanguínea se incluyen a los leucocitos, nombre genérico que se les da a las diferentes células blancas

nucleadas de la sangre, las cuales están formados por neutrófilos (18-40%), monocitos (2-8%), eosinófilos (5-18%), basófilos (0-2%) y linfocitos (45-65%). Estos leucocitos, en conjunto, participan en mecanismos de defensa, respuestas inmunitarias y alérgicas del cuerpo (Wittwer y Böhmwald, 1983). Los índices de glóbulos rojos se calculan a partir del volumen de eritrocitos y concentración de hemoglobina. Con esta información también podemos obtener las concentraciones de volumen corpuscular medio y volumen corpuscular medio de hemoglobina, los cuales ayudan en el diagnóstico de diversas anemias (Reece, 2006). Finalmente, dentro de los componentes hematológicos encontramos a las plaquetas o trombocitos, siendo estos los fragmentos celulares de sus células precursoras, que residen en la medula ósea y que se liberan al torrente sanguíneo fragmentos de su citoplasma delimitados por la membrana celular (Cunnigham, 2014).

Los cambios en las concentraciones de los componentes hematológicos en la sangre están ampliamente relacionados con diferentes factores como raza, estado fisiológico, edad y condiciones ambientales (Bhan et al., 2012). Dichos componentes son muy sensibles a los cambios de temperaturas, por lo que sus modificaciones se consideran como indicadores inequívocos de estrés calórico en los animales (Ribeiro et al., 2014). Por otra parte, en condiciones de estrés calórico, la reducción del flujo sanguíneo de la mayoría de los órganos a causa de la redistribución hacia la periferia y hacia los músculos asociados a la respiración, es también un factor predisponente a los cambios de significativos en los niveles de ciertos componentes hematológicos. Por ello, existen algunos cambios cuantitativos y morfológicos en sangre observados en animales bajo estrés calórico, variaciones en los valores de hematocrito, el contenido de los eritrocitos y

conteo de hemoglobina en los eritrocitos (Iriadam, 2007). Nunes et al. (2002) reportan que animales con una alimentación deficiente y bajo estrés calórico de larga duración, redujeron el número de eritrocitos y hemoglobina, lo que provocó una disminución de los glóbulos rojos en el torrente sanguíneo. Otro estudio realizado por Cardozo et al. (2015) en ganado cebú bajo condiciones de temperaturas elevadas encontraron que los la mayoría de los parámetros hematológicos por la raza y el medio ambiente; encontrándose de esta forma mayores concentraciones durante la exposición del ganado al estrés calórico. 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 más alta concentración de hemoglobina, CCMH, CMH y glóbulos blancos, pero menor concentración de VCM en verano que en invierno, mientras las concentraciones de glóbulos rojos y hematocrito fueron similares en ambas estaciones. Esto se debe a que en condiciones de verano la demanda de oxígeno es mayor por un aumento en la actividad de los tejidos, como consecuencia de un intento de parte del animal por disipar el calor por medio del jadeo. Algunos autores han descrito rangos de referencia en ganado bovino adulto bajo condiciones termo-neutrales, ejemplo de ellos se describen a continuación en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores hematológicos de bovinos adultos bajo condiciones termo-neutrales, según distintos autores.

Referencia	Valores de componente hematológico										
	Lin, X 10 ⁹ L	Mon, X 10 ⁹ L	Lin, %	Mon, %	Rbc, x 10 ¹² /L	Hgb , g/dL	Hemat, %	VCM, fL	HCM, pg	CCMH, g/dL	VMP, fL
IRAM, 2008	-----	-----	45-75	2-7	-----	8-15	24-46	40-60	11-17	-----	-----
Schalm and William, 1964	-----	-----	45-75	2-7	-----	8-14	-----	-----	-----	-----	-----
Merck, 2008	2.5-7.5	.025-.85	45-75	2-7	-----	8-15	24-46	40-60	11-17	30-36	-----
Gerrit et al., 1974	-----	-----	-----	-----	-----	9-14	28-39	45-65	14-24	26-34	-----
Merck, 2016	2.5-7.5	0-0.9	62-63	0-8	5-10	8-15	-----	40-60	11-17	30-36	3.5- 6.5
RAR, 2000	-----	-----	40-70	1-6	-----	8-16	-----	40-60	11-17	30-36	-----

Lin: linfocitos; Mon: monocitos; Rbc: Glóbulos rojos; Hgb: Hemoglobina; Hemat: hematocrito; VCM: Volumen corpuscular medio; HCM: Hemoglobina corpuscular medio; CCMH: concentración corpuscular medio de hemoglobina; MVP: Volumen medio de plaquetas; RAR: Research Animal Resources.

Estrés calórico y genotipo del animal

La variación en la adaptabilidad de bovinos de distintas razas a temperaturas extremas probablemente se debe a que las subespecies *Bos indicus* y *Bos taurus* han evolucionado dentro de climas distintos (Hansen, 2004). En el caso del ganado cebú, el cual es de origen tropical, probablemente durante su evolución en ambientes cálidos se adaptó al estrés por calor adquiriendo genes termotolerantes (Cardozo et al., 2015). Gaughan et al. (1999) reportaron que la adaptación genética ha permitido que el ganado *Bos indicus* tenga menores tasas de respiración y temperatura rectal que el ganado *Bos taurus* cuando son sometidos a condiciones de estrés térmico similares.

La capacidad termorregulatoria del ganado bovino es dependiente de la interacción de factores anatómicos y fisiológicos. Entre ellos podemos encontrar: 1) producción de calor metabólico, 2) propiedades de la piel, 3) tasa de sudoración, 4) propiedades del pelo, y 5) superficie expuesta por unidad de peso (McManus et al., 2010). Uno de los principales mecanismos de disipación de calor de los animales es mediante la conducción y convección. La cantidad de pérdida de calor por estas dos vías son dependientes de la capacidad de conductividad del núcleo del cuerpo del animal hacia la piel, y de la piel hacia el aire en movimiento (Hansen, 2004), por lo tanto los mecanismos anteriormente factores anatómicos y fisiológicos antes mencionados son factores importantes para poder disipar el calor acumulado en el cuerpo, de tal manera que los animales que presenten mejores condiciones fisiológicas y anatómicas tendrán una mejor adaptación al medio ambiente por la mayor disipación del calor hacia el ambiente.

El ganado cebú ha demostrado que tiene mayor capacidad de termorregulación en comparación con el ganado de origen europeo (Pereira et al., 2014) como resultado de la reducción en la producción de calor y el aumento de la capacidad de la pérdida de calor al medio ambiente (Hansen, 2004). La baja tasa metabólica resultante de la reducción en la tasa de crecimiento y la menor producción de leche en razas cebú son factores importantes que contribuyen a su termotolerancia en comparación con razas europeas (Al-Haidary, et al., 2001).

El estrés calórico que experimentan los animales muchas veces depende de la alta tasa metabólica resultado de una alta productividad y crecimiento. Se han realizado diferentes pruebas en la que demuestran que la tasa metabólica del *Bos indicus* es inferior a la de *Bos taurus*, por lo cual los animales de razas cebú producen menos calor metabólico y de esta forma estos animales son menos susceptibles al calor (Hansen, 2004). Sin embargo, la capacidad de adaptación de los bovinos a climas con temperaturas elevadas no solo depende de la cantidad de calor que produce el animal, sino que también depende de la capacidad con la que pierden ese calor acumulado.

Entre las propiedades de la piel que hace que los animales puedan tolerar o ser más susceptibles a estrés por calor se encuentran el número, diámetro y distribución de las glándulas sudoríparas. 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 (Lloyd y Patel, 2008). La sudoración termorreguladora de los bovinos es provocada por estimulación de los 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).

La capacidad de sudoración no es la misma entre distintas razas de animales, incluso, entre animales de la misma raza. En bovinos se han reportado variaciones en número de folículos pilosos y en el tamaño y forma de glándulas sudoríparas por centímetro cuadrado de piel entre razas cebuinas y europeas, favoreciendo a la raza cebú (Carvalho et al., 1995; Landaeta-Hernández et al., 2010). La sudoración es un proceso importante de pérdida de calor por evaporación, ya que cerca del 70-85% de la máxima pérdida de calor ocurre a través de la sudoración y el resto debido a la respiración (Finch, 1985).

Cabe destacar que los bovinos solo presentan un tipo de glándula sudorípara que es la apocrina y es asociada con cada fibra capilar. Por lo tanto, la densidad del pelo afecta directamente al número de glándulas sudoríparas, influyendo de esta forma en la pérdida de calor por evaporación (Bernabucci, 2010).

Las principales propiedades del pelo que proporcionan la adaptabilidad a los animales a temperatura elevadas son: espesor, diámetro, color e incluso la inclinación de los pelos. Las características del pelo son muy importantes en los animales para poder contrarrestar las inclemencias de las temperaturas extremas por medio de la capacidad de absorción de la radiación, además de facilitar la disipación del calor ya acumulado por las temperaturas ambientales y el calor generado por el metabolismo a través de la sudoración. El ganado con el pelo más corto, con menor diámetro y de colores más claros, se adapta más fácilmente a

ambientes calientes en comparación con aquellos animales que presentan pelos más largo y de colores más oscuros (Gaughan et al., 2009).

Normalmente, animales del genotipo *Bos indicus* presentan menor tamaño y abundancia de pelo, así como colores más claros en comparación con el genotipo *Bos Taurus*. Maia et al. (2003) confirmaron que la cantidad de radiación transmitida a través del pelo depende no solamente del color, sino que también de la estructura física que lo conforma, principalmente el número de pelos por unidad de área. Las características del pelo son tan importantes en la adaptación de los bovinos en climas cálidos, que en las épocas de verano estos animales mudan de pelo, es decir, las capas gruesas y oscuras son sustituidas por pelos cortos y claros.

Brown-Brandl et al. (2006) reportaron efectos del estrés calórico sobre animales de distintas razas y color de pelaje, encontrando que animales raza Charoláis presentaron la menor tasa de respiración, seguido de la raza Gelbvieh y la raza con más alta respiración fue Angus. Los autores concluyeron que dichos resultados ya eran esperados debido a que la diferencia de colores afecta la absorción de radiación solar. En varios estudios donde se comparan animales *Bos indicus* y *Bos taurus*, han encontrado que las características de pelo para la disipación de calor favorece a los animales *Bos indicus*, los cuales tienen menor cantidad y tamaño de pelo por centímetro cuadrado (Da Silva et al., 2001; Maia et al., 2003).

Otra posible explicación por la cual el ganado *Bos indicus* tiene mayor capacidad de disipación de calor es que este tipo de ganado tiene una mayor densidad arterio-venosa que el ganado *Bos taurus* (Hansen, 2004), característica

que le ayuda a poseer menor resistencia el flujo de sangre hacia la piel, y de esta forma poder perder mayor calor mediante convección.

2.5. Estrategias de mitigación de estrés calórico

El estrés calórico afecta considerablemente las respuestas fisiológicas y la eficiencia productiva de los animales. Estas alteraciones se traducen en menor producción y consecuentemente en pérdidas económicas. Por ello el conocimiento de las alternativas para mitigar el impacto negativo del estrés calórico sobre los animales es un factor predisponente del éxito de la ganadería en ambientes cálidos. Breede y Collier (1986) sugirieron tres estrategias de mitigación del estrés calórico en el ganado: 1) desarrollo de razas termo-tolerantes, 2) manejo nutricional de los animales y 3) modificaciones ambientales en los corrales del ganado. De éstas, las dos primeras son las más utilizadas para la reducción del estrés calórico en el ganado. Las estrategias más comúnmente utilizadas como modificación ambiental por los ganaderos son el uso de sombras y los sistemas de enfriamiento (Buffington et al., 1983).

2.5.1. Uso de sombras

La sombra en los corrales es tal vez una de las mejores herramientas que se tienen para mitigar el efecto del estrés calórico en animales bajo sistemas de estabulación, ya que reduce el impacto de la radiación solar en forma directa, de tal manera que ayuda a disminuir la carga de calor que los animales reciben en días soleados. La búsqueda de sombra por parte del animal bajo condiciones de altas temperaturas ha sido observada con mayor frecuencia cuando se incrementa la radiación solar (Tucker et al., 2008), sin tener preferencias por el tipo de material que se presente (Schutz et al., 2008).

El uso de sombras en climas cálidos es esencial para obtener una eficiente productividad en el ganado de engorda, incluso es necesario para su sobrevivencia en veranos de calor extremo. La radiación solar es un factor ambiental que influye fuertemente sobre la ganancia de calor corporal en los animales a lo largo del día (Mader et al., 2006). Sin embargo, la utilización de sombras en los corrales permite reducir hasta 30% la absorción de calor (Hicks, 2006), disminuyendo de 30 a 50 % la carga calórica total en el animal (Collier et al., 2006). La utilización de sombras se traduce en bienestar animal, lo cual podría reflejarse en mejor producción. Por ejemplo, algunos estudios concluyeron que el uso de sombras artificiales favorece las constantes fisiológicas frecuencia respiratoria y temperatura rectal, así como el comportamiento animal y la producción de leche en bovinos (Brown-Brandl et al., 2005).

La funcionalidad de las sombras depende en gran medida del área de sombreado por unidad animal, ya que los animales necesitan un espacio específico de sombra para evitar la aglomeración y de esta manera poder disipar el calor acumulado, especialmente con ganado europeo. Algunos estudios en Estados Unidos reportan resultados favorables en la disminución de carga de calor en los animales al utilizar sombras artificiales, pero otros no han encontrado los resultados esperados (Brown-Brandl et al., 2004). Los autores concluyen que probablemente estas controversias se deban al área de sombreado utilizado. Por ello se han sugerido diferentes medidas de áreas de sombreados en ganado productor de leche en épocas de calor. Buffington et al. (1983) recomiendan un espacio de 4.2 m² por animal. Bond et al. (1958) sugiere que 5.6 m² por animal es lo deseable, mientras que Arias (2008) sugiere que la sombra debe proveer una

superficie de 1.85 a 3.70 m² por animal y estar ubicado a una altura de 2.5 a 4 m, considerando espacio suficiente para el flujo de aire bajo la sombra. Sin embargo, en la época de verano se recomienda incrementar la superficie de sombra por animal (Sullivan et al., 2011).

Las sombras en los corrales permiten contrarrestar los efectos de la radiación solar hacia los animales. A pesar de que la sombra disminuye la acumulación de calor producido por la radiación solar, no hay efecto considerable en la temperatura y humedad relativa del aire, por lo que en algunos casos es necesario enfriamiento adicional (West, 2003; Buffington et al., 1983). Por ello se han buscado estrategias distintas para contrarrestar los efectos del factor climático aire.

2.5.2. Sistemas de enfriamiento

Una vez que se ha realizado una instalación adecuada de sombras y que se haya determinado que no fue suficiente para disminuir el calor corporal del animal, se debe buscar la implementación de sistemas de enfriamiento. Así, además de proteger de la radiación solar indirecta (como lo es el reflejo del calor del suelo y materiales que rodean al animal), se reduce la temperatura ambiente a través de modificaciones en la velocidad del aire y la evaporación de la superficie del animal. Dentro de los sistemas de enfriamiento podemos encontrar la ventilación forzada, la aspersión de agua y la combinación de ambos.

2.5.3. Ventilación forzada

La ventilación forzada se basa en el principio de incrementar las pérdidas de calor por convección. La principal función de la ventilación es la extracción del calor corporal que el animal tiene acumulado en la piel; el calor del animal es

transferido hacia el aire frío y se elimina frecuentemente por el aire en movimiento, siempre y cuando la temperatura ambiental sea menor que la del cuerpo (Mader et al., 2006; Berman, 2009). Ortiz (2010) recomienda que a mayor tiempo de enfriamiento por ventilación los animales pudieran tener mejor rendimiento. Sin embargo, esta técnica puede resultar contraproducente en áreas o durante algunos momentos del día muy calurosos, por hacer circular sobre los animales aire excesivamente caliente, lo que provocaría ganancias en vez de pérdidas de calor.

2.5.4. Aspersión de agua

Otra de las formas de modificar el ambiente es a través de sistemas de enfriamiento con agua. En ambientes calientes el baño parcial o total de los animales puede servir como una práctica efectiva de enfriamiento. Las prácticas de sistemas de aspersión en engordas son probablemente las más eficaces para disipar la carga calórica de los animales por medios evaporativos, ya que agrega agua adicional que se evapora de la superficie del animal y el reemplazo frecuente de aire evita la acumulación de humedad en la capa de aire que rodea al animal y permite una evaporación continua. Sin embargo, comúnmente no son utilizadas en corrales de engorda probablemente debido a que no son económicamente redituables (Correa-Calderón et al., 2007).

Davis et al. (2003) demostraron que el uso de aspersores de agua reduce la temperatura corporal. El uso de este sistema también reduce la tasa de respiración (Davis y Mader 2003). Sin embargo, el uso de aspersores puede tener efectos negativos si no existe una adecuada remoción de aire, por el hecho de que

la saturación de la humedad ambiental detiene parcial o totalmente la vía de disipación de calor en ambientes cálidos (Arias, 2008).

2.5.5. Ventilación y aspersión

Este sistema de enfriamiento consiste en la combinación del humedecimiento y ventilación forzada, aplicados en áreas abiertas como el área de comederos, corrales y en sala de ordeño en el caso de las vacas lecheras. El principal objetivo de este método es el enfriamiento directo del animal más no el del medio ambiente, como el de la ventilación forzada. El enfriamiento del animal se da mediante la humectación de la capa de pelo del animal y así el agua se evapora y enfría el pelo y la piel. Arcaro et al. (2005) encontraron que el tratamiento de ventilación más aspersión disminuyeron significativamente la frecuencia respiratoria de los animales. En la temperatura de piel se produjo una reducción de 4.2 °C para la región de la cabeza y 2.8 °C para la región del dorso. La pérdida de calor por este sistema es 2 a 8 veces más potente que otras técnicas, como la utilización de sola mente ventilación forzada (Berman, 2006).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área y duración del estudio

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

3.2. Animales y corrales experimentales

Se utilizaron en total 804 toretes distribuidos en 12 corrales experimentales en la etapa de finalización de la engorda con peso inicial promedio de 432.05 ± 28 kg. Aleatoriamente se asignaron 67 animales por corral, siendo cada tratamiento formado por 3 corrales, totalizando 201 animales por tratamiento. No obstante predominaron animales de razas europeas (Angus, Charoláis, Suizo Europeo, cruza de Jersey), se tuvieron también animales de raza Cebú y cruza de Cebú

con razas europeas en distintos porcentajes. La dimensión de los corrales fue 15 x 40 m, orientados norte-sur y con su respectivo comederos tipo canoa que estaban disponibles en cada corral linealmente del lado Este por el pasillo. Además, cada corral contó con un bebedero automático.

3.3. Tratamientos (tipos de sombra)

Se consideraron cuatro tipos distintos de sombra que fueron:

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

2) Domo sin abanico (DSA), consistió en una sombra tipo domo con dimensiones de 15 x 40 m, altura de 6.9 m, cobertura de 8.5 m² de sombra por animal y una estructura tipo campana en la parte más alta del domo para una mejor circulación del aire dentro del corral.

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

4) Testigo (T), consistió en una sombra en forma rectangular de lámina galvanizada ubicada en el centro del corral, orientada este-oeste, con una

dimensión de 15 x 5.8 m y altura de 3.5 m, lo que resultó en una cobertura de 1.3 m² por animal.

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

3.4. Registro de variables

Se colectaron variables climáticas, bioquímicas y hematológicas; de las climáticas se obtuvieron temperatura ambiental, humedad relativa e índice temperatura-humedad; dentro de las variables bioquímicas se colectaron muestras de sangre para su posterior análisis de metabolitos y electrolitos sanguíneos.

3.4.1. Variables climáticas

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

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

Donde:

ITH = es el Índice Temperatura-Humedad, T = Temperatura ambiental

HR = Humedad relativa

3.4.2. Metabolitos sanguíneos

Se colectaron muestras de sangre a 30 animales de cada uno de los 4 tratamientos en los días en que se realizó el pesaje (inicio, intermedio y final de la prueba); dichos animales fueron seleccionados previamente de forma al azar, de los cuales el 50% de ellos fueron del genotipo *Bos taurus* y el 50% restante fueron genotipo *Bos indicus*. La sangre colectada se utilizó para determinar las concentraciones séricas de metabolitos sanguíneos (glucosa, colesterol, triglicéridos, proteína total y urea). Las muestras se colectaron en tubos vacutainer de 10 ml vía venopunción de la yugular antes de ofrecer el alimento por la mañana. Se centrifugaron a 3500 rpm durante 15 min a una temperatura de 10° C, el suero fue separado por duplicado en viales de 2 ml y almacenados a -20 ° C para su posterior análisis utilizando un equipo de química sanguínea (Model DT-60, JohnsonCo.; High Wycombe, UK).

3.4.3. Electrolitos sanguíneos

En el mismo momento y con los mismos 30 animales de cada uno de los 4 tratamientos que se utilizaron para obtener muestras sanguíneas para el análisis de metabolitos, se llevó a cabo la colección de sangre para analizar los componentes de electrolitos (Na, Cl y K) en suero sanguíneo. Las muestras se colectaron en tubos vacutainer de 10 ml vía venopunción de la yugular, antes de ofrecer el alimento de la mañana. Se centrifugaron a 3500 rpm durante 15 min a una temperatura de 10° C, el suero fue separado por duplicado en viales de 2 ml y almacenados a -20 ° C para su posterior análisis. Para este análisis se usó un equipo automatizado (Electrolyte Analyzer LW E60A; Landwind Medical).

3.4.4. Componentes hematológicos

La metodología antes mencionada para la colección de sangre se utilizó para la obtención de muestras, para posteriormente determinar las concentraciones de los siguientes componentes hematológicos: leucocitos (Leu), linfocitos (Lin), monocitos (Mon), granulocitos (Gran), glóbulos rojos (GR), hemoglobina (Hb), hematocrito (Htc), volumen corpuscular medio (VCM), hemoglobina corpuscular media (HCM), concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM), plaquetas (Plt) y volumen medio de plaquetas (VMP) en sangre entera de los bovinos. Las muestras fueron colectadas por la mañana antes de ofrecer alimento en tubos vacutainer de 4 ml con EDTA-K₂ mediante punción de la yugular. Inmediatamente después de ser colectadas las muestras se trasladaron al laboratorio para centrifugar y separar el suero, de cada muestra de suero se almacenaron por duplicado en viales de 2 ml a -20 °C hasta su análisis posterior mediante el uso de un equipo para determinar componentes hematológicos (Auto Hematology Analyzer, MINDRAY, BC-2800 Vet).

3.5. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un arreglo factorial 4 x 2 en un diseño completamente al azar, siendo los factores tipo de sombra (4 niveles), genotipo (2 niveles) y la interacción tipo de sombra x genotipo (Petersen, 1985). La comparación de medias se realizó mediante pruebas de t-student para medias ajustadas. Las diferencias se declararon significativas usando un nivel de error de 5%. En todos los casos se utilizó el procedimiento GLM (General Linear Models) del programa SAS (Statistical Analysis System), versión 9.02 (SAS, 2004).

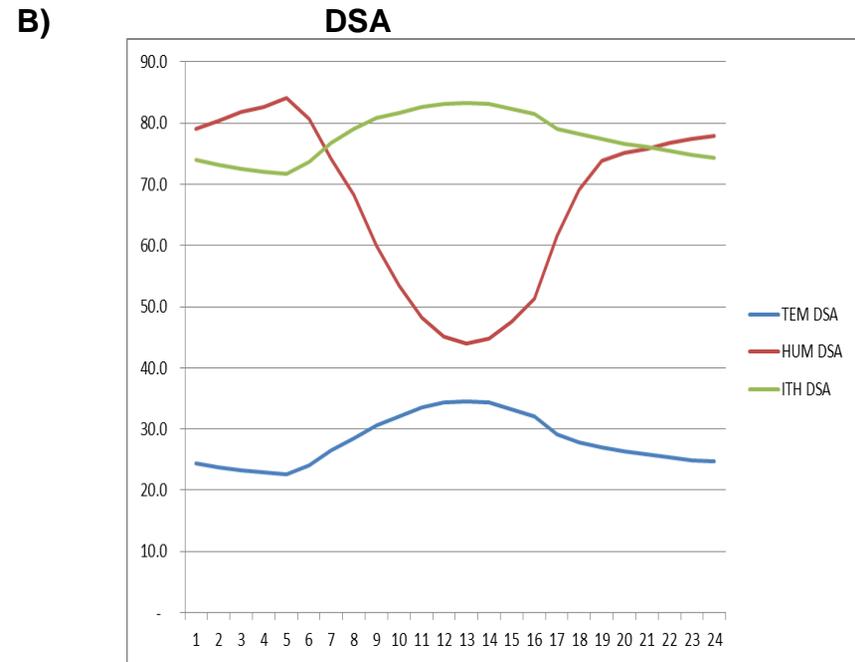
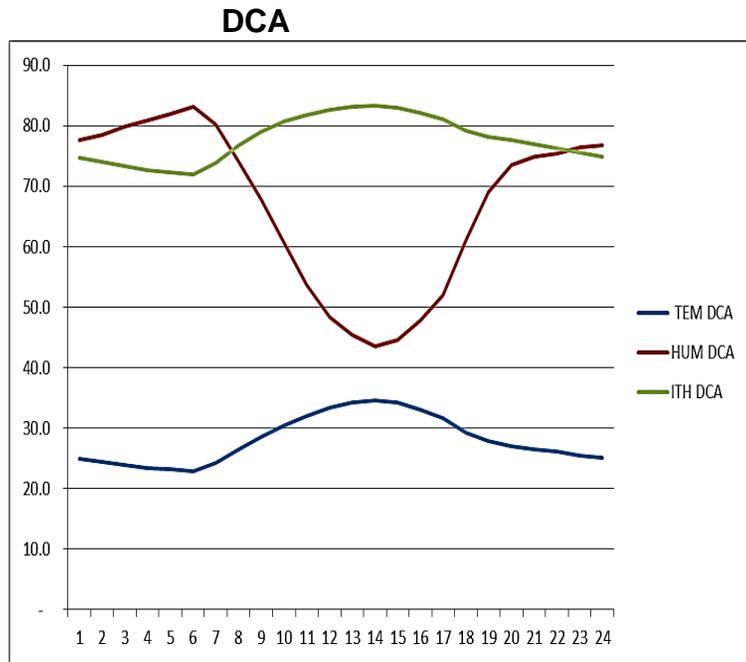
4. RESULTADOS

4.1. Datos climáticos

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

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

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



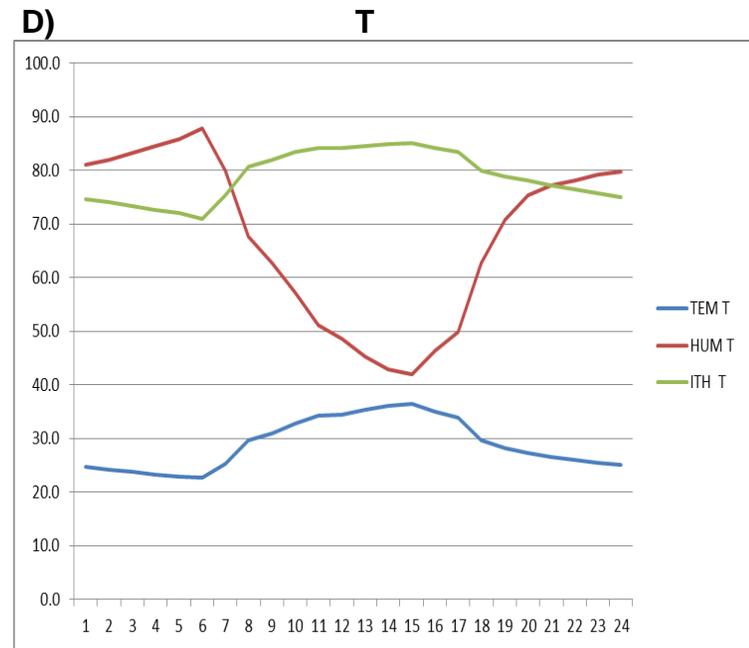
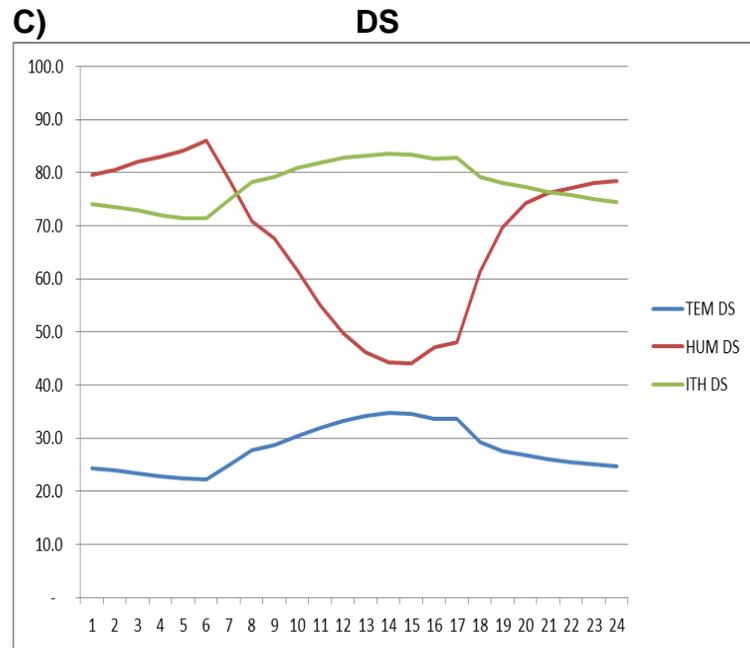
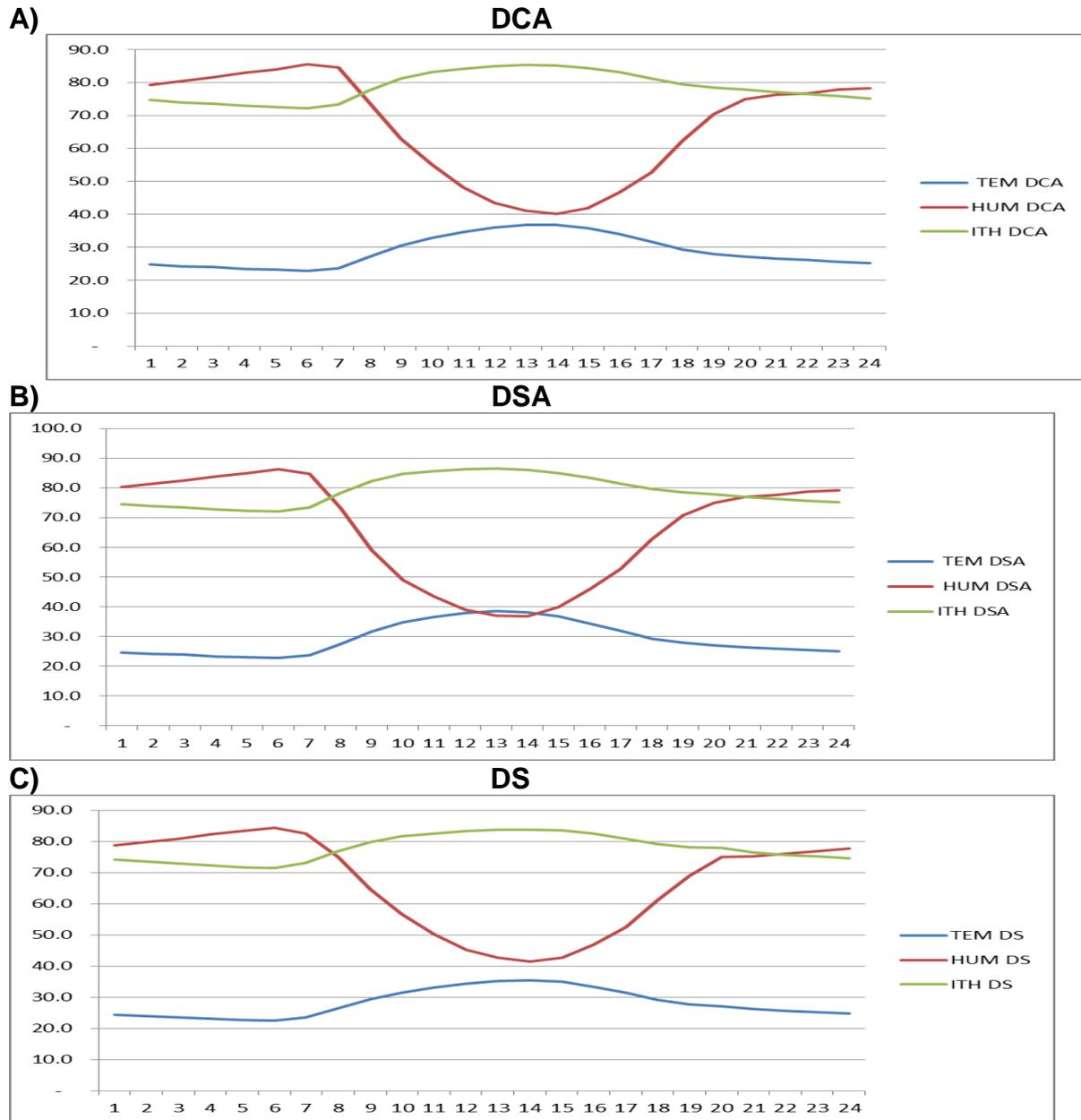


Figura 2. Promedios por hora de temperatura ambiental (T_{prom}), humedad relativa (HR) e índice temperatura-humedad (ITH) durante el periodo experimental en techo en los diferentes tratamientos: A) Domo con abanico (DCA), B) Domo sin abanico (DSA), D) Doble sombra (DS).



4.2. Componentes hematológicas

Los resultados sobre variables hematológicas por efecto de genotipo y tipo de sombra en ganado de engorda en corral se presentan en el Cuadro 2. La interacción genotipo x tipo de sombra fue significativa solo para VCM, siendo las medias de esta variable más bajas ($P < 0.05$) en ganado europeo mantenido en sombra normal comparado con el resto de las combinaciones de tratamientos. Por otro lado, se observaron efectos de genotipo sobre concentración de leucocitos, HCM y volumen de plaquetas; asimismo, se observó un efecto de tipo de sombra sobre número de plaquetas. El ganado europeo tuvo mayor ($P < 0.05$) concentración de leucocitos pero menor ($P < 0.05$) concentración de HCM y volumen de plaquetas en relación al ganado cebú. En el caso de tipo de sombra, los toros en DS tuvieron menor ($P < 0.05$) concentración de plaquetas que los toros en DCA y DSA, pero similar ($P > 0.05$) a los toros T. Adicionalmente, entre los toros en DCA, DSA y T no hubo diferencias ($P > 0.05$) en la concentración de plaquetas. El resto de las variables hematológicas no fueron afectadas ($P > 0.05$) por genotipo o tipo de sombra.

Cuadro 2. Promedios y errores estándar de variables hematológicas en toros *Bos indicus* y *Bos taurus* sujetos a cuatro tipos de sombra.

Variables	GENOTIPO								E.E	Valor de probabilidad		
	EUROPEO				CEBÚ					G	TS	G*TS
	TIPO DE SOMBRA											
	DCA	DSA	DS	T	DCA	DSA	DS	T				
Leucocitos, X 10 ⁹ L	13.3	13.0	12.4	14.1	12.9	12.7	11.5	11.6	0.73	*	n.s	n.s
Linfocitos, X 10 ⁹ L	5.65	5.45	5.25	6.10	5.45	5.27	4.92	5.00	0.37	n.s	n.s	n.s
Monocitos, X 10 ⁹ L	1.05	1.00	0.99	1.72	0.94	1.00	0.90	0.86	0.24	n.s	n.s	n.s
Granulocitos, X 10 ⁹ L	6.55	6.50	6.13	6.93	5.91	6.39	5.67	5.70	0.49	n.s	n.s	n.s
Linfocitos, %	43.0	42.6	42.0	43.3	43.9	43.2	43.3	43.0	2.14	n.s	n.s	n.s
Monocitos, %	8.08	7.91	7.99	7.66	7.80	8.06	8.07	7.59	0.36	n.s	n.s	n.s
Granulocitos, %	49.0	49.8	50.2	50.4	48.4	48.7	48.4	49.4	2.33	n.s	n.s	n.s
Glóbulos rojos, X 10 ¹² L	8.87	8.68	8.69	9.43	9.04	8.73	8.99	8.63	0.33	n.s	n.s	n.s
Hemoglobina, g/dl	11.4	10.9	11.0	11.2	11.6	11.8	11.5	11.4	0.35	n.s	n.s	n.s
Hematocrito, %	36.9	34.9	35.7	38.1	37.0	36.5	37.5	36.2	1.67	n.s	n.s	n.s
VCM, Fl	42.0	40.5	41.2	37.7	41.1	41.9	42.4	43.1	1.02	n.s	n.s	*
HCM, Pg.	12.9	12.7	12.7	11.8	12.8	14.1	12.9	13.3	0.47	*	n.s	n.s
CCMH, g/dl	30.8	31.4	30.9	31.5	31.3	33.9	30.5	30.9	0.99	n.s	n.s	n.s
ADE, %	19.7	19.3	19.2	19.2	19.5	19.2	19.6	18.8	0.35	n.s	n.s	n.s
Plaquetas, X 10 ⁹ L	460.3	509.2	445.7	424.7	482.0	465.9	377.4	425.3	28.9	n.s	*	n.s
Volumen de plaquetas, Fl	4.41	4.35	4.38	4.36	4.43	4.56	4.59	4.54	0.09	*	n.s	n.s
ADTP	15.9	15.8	14.7	15.8	15.7	14.6	15.9	15.8	0.53	n.s	n.s	n.s
Plaquetocrito, %	0.20	0.21	1.24	0.20	0.21	1.33	0.16	0.19	0.52	n.s	n.s	n.s

n.s. = No significativo (P > 0.05); significativo * (P < 0.05) y altamente significativo ** (P < 0.01).

VCM: Volumen corpuscular medio; HCM: hemoglobina corpuscular media; CCMH: concentración corpuscular media de hemoglobina; ADE: ancho de distribución de eritrocitos; ADTP: ancho de distribución del tamaño plaquetario; G: Genotipo; TS: Tipo de sombra; G * TS Genotipo x tipo de sombra.

4.3. Metabolitos sanguíneos

Los resultados de metabolitos sanguíneos por efecto del genotipo y tipo de sombra en ganado de engorda en corral se presentan en el Cuadro 3. No obstante que la interacción G*T no fue significativa, se observó efecto de genotipo sobre concentraciones de colesterol y urea. En el ganado europeo se presentó menor ($P < 0.05$) concentración de colesterol y urea con relación al ganado cebú. El resto de los metabolitos no fueron afectadas ($P > 0.05$) ni por el genotipo ni por el tipo de sombra

Cuadro 3. Promedios y errores estándar de metabolitos sanguíneos en toros *Bos indicus* y *Bos taurus* sujetos a cuatro tipos de sombra.

Variables	GENOTIPO								E.E	Valor de probabilidad		
	EUROPEO				CEBÚ					G	TS	G*TS
	TIPO DE SOMBRA											
	DCA	DSA	DS	T	DCA	DSA	DS	T				
Colesterol ml/dL	125.7	113.6	111.6	135.5	136.3	156.9	160.5	149.5	10.22	**	n.s	n.s
Triglicérido ml/dL	41.8	46.7	41.5	45.5	38.4	54.6	53.4	37.8	5.83	n.s	n.s	n.s
Glucosa ml/dL	120.2	104.5	118.7	113.3	110.7	123.5	109.2	110.5	8.06	n.s	n.s	n.s
Proteína total ml/dL	8.53	8.16	7.97	8.14	8.36	9.01	8.39	8.16	0.38	n.s	n.s	n.s
Urea	15.4	16.2	17.0	17.2	17.2	20.5	20.0	17.2	15.4	*	n.s	n.s

n.s. = No significativo ($P > 0.05$); significativo * ($P < 0.05$) y altamente significativo ** ($P < 0.01$).G: Genotipo; TS: Tipo de sombra; G * TS: Genotipo x tipo de sombra.

4.4. Electrolitos sanguíneos

Los resultados de electrolitos sanguíneos por efecto del genotipo y tipo de sombra en ganado de engorda en corral se presentan en Cuadro 4. Las concentraciones de Na⁺, K⁺, y Cl⁻ no fueron afectadas (P>0.05) por la interacción G*TS, ni por ninguno de los efectos principales.

Cuadro 4. Promedios y errores estándar de electrolitos sanguíneos en toros *Bos indicus* y *Bos taurus* sujetos a cuatro tipos de sombra

Variables	GENOTIPO								E.E	Valor de probabilidad		
	EUROPEO				CEBÚ					G	TS	G*TS
	TIPO DE SOMBRA											
	DCA	DSA	DS	T	DCA	DSA	DS	T				
Potasio	4.82	4.75	4.72	4.93	4.99	4.87	4.93	4.80	0.11	n.s	n.s	n.s
Sodio	139.9	137.8	138.0	139.9	140.2	141.1	139.7	139.6	1.20	n.s	n.s	n.s
Cloro	107.8	107.5	106.6	107.9	107.0	107.4	106.9	106.7	0.54	n.s	n.s	n.s

n.s. = No significativo (P > 0.05); G: Genotipo; TS: Tipo de sombra; G * TS; Genotipo x tipo de sombra.

5. DISCUSIÓN

5.1. Datos climáticos

Los resultados de las condiciones ambientales durante el periodo experimental demuestran que los animales se encontraban bajo condiciones de estrés calórico, dado que las temperaturas de todos los tratamientos superaban los promedios diarios de 27 °C y el límite de la zona termoneutral indicado para bovinos adultos es de 27 °C, por lo cual, dichas condiciones de temperaturas ambientales excedieron la zona de confort (Yousef, 1985). Los promedios de temperatura de los corrales DCA, DSA y DS fueron de 28 °C, mientras que para el grupo T fue de 28.9, lo cual indica que los tipos de sombra DCA, DSA y DS mejoraron la temperatura interna de los corrales, sin embargo, para la HR solo se mejoraron en los corrales DCA y DSA obteniendo promedios de 67 % en comparación con los corrales DS y T los cuales tuvieron promedios de 68 % de HR. Con la ayuda de estos datos se corroboró y clasificó el tipo de estrés calórico a los cuales se encontraban sometidos los animales del experimento, mediante la utilización de un modelo de índice de temperatura-humedad (ITH) para evaluar las variables climatológicas. El ITH obtenido para los corrales DCA, DSA y DS fue de 77.7, en los corrales con sombra T se obtuvieron ITH de 78.8. Estos resultados indican que las sombras con domo y DS tuvieron mejores condiciones ambientales dentro de los corrales en comparación con los corrales con sombras T. Además demostraron que todos los tratamientos se encontraban en condiciones de estrés moderado.

5.2. Componentes hematológicos

El equilibrio y funcionamiento fisiológico de los animales es dependiente de la sangre circulante en el cuerpo, por tanto, muchas condiciones fisiológicas son alteradas por la cantidad y calidad de la sangre dado que los componentes hematológicos circulantes en sangre son indicadores importantes del estado fisiológico o patológico del animal (Bhan et al., 2012). No obstante que los bovinos son considerados como animales homeotermos, es sabido que variables como raza, estado fisiológico, edad y condiciones ambientales ejercen influencia sobre el comportamiento fisiológico, bioquímico y hematológico.

5.2.1 Glóbulos blancos

La presencia de glóbulos blancos circulantes en el torrente sanguíneo, responsables de la producción de anticuerpos y es buena indicadora de la salud de un organismo. Sin embargo, la presencia de un estímulo estresante en el animal es potencialmente perjudicial para el organismo, desencadenando una serie de reacciones tanto nerviosas como endocrinas, siendo uno de sus resultados la liberación de hormonas corticosteronas, que tienen efecto de inmunosupresión (López et al., 2014). En este sentido, se ha demostrado que el estrés térmico produce aumento de la secreción de glucocorticoides incrementando la liberación de neutrófilos desde la médula ósea y los vasos, lo cual conduce a los neutrófilos marginales hacia el torrente sanguíneo, resultando en un incremento en el conteo de leucocitos totales circulantes en sangre (Lee y Kehrl, 1998); esto a su vez puede promover un aumento en la susceptibilidad a infecciones virales (Gross et al., 1980). Por lo anterior, La variabilidad observada en el número total de leucocitos circulantes en el torrente sanguíneo en ganado

Bos taurus y *Bos indicus* en este estudio puede explicarse en función de una mayor liberación de corticosterona en animales *Bos taurus* en comparación con los *Bos indicus*. Los promedios totales de leucocitos obtenidos en este estudio en ganado *Bos taurus* fueron ligeramente mayores a los valores de referencia que se presentan en el Cuadro 1, mientras que en ganado *Bos indicus*, sus valores estuvieron dentro del rango normal. Dichos resultados concuerdan con los observados por Wegner et al. (1974), quienes reportan que condiciones estresantes de altas temperaturas ambientales resultaron en un incremento moderado de leucocitos en ganado *Bos taurus*; por otro lado, algunos estudios realizados en ganado *Bos taurus* sometidos a estrés calórico son contradictorios, ya que han encontrado disminución significativa de los niveles de leucocitos (Koubková et al., 2002), algunos incrementos significativos (Ali-Gholi et al., 2007), y otros como Gutierrez-de la Rosa et al. (1971) sin observar efectos en niveles de este mismo componente hematológico entre ganado *Bos taurus* y *Bos indicus*.

Para el resto de las variables relacionadas a glóbulos blancos (linfocitos, monocitos y granulocitos), no se encontraron diferencias entre tratamientos, sin embargo, para la variable monocitos, tanto en porcentaje como en recuentos totales se encontraron niveles superiores a los reportados por los autores del Cuadro 1. Dichos resultados concuerdan con los reportados por Stanger et al. (2005), quienes señalan que animales que se encuentran bajo estrés calórico presentan niveles elevados de monocitos por efecto de la combinación de variables ambientales adversas, aunado a eso, no se han reportado resultados sobre modificaciones en los recuentos de monocitos por efecto del tipo de sombra en el que se encuentran los animales.

5.2.2. Glóbulos rojos

El nivel normal de HCM en sangre es, desde el punto de vista clínico, importante porque indica la síntesis normal de hemoglobina para cada glóbulo rojo, por lo tanto, la capacidad de la sangre para transportar oxígeno hacia los tejidos se determina por la cantidad de hemoglobina presente en ella y por las características químicas de la misma (Cunnigham, 2014). Los valores promedio de HCM encontrados en este estudio fueron, para ganado *Bos indicus*, de 13.25 pg, mientras que en ganado *Bos taurus* promediaron 12.51 pg. Estos valores para ambos genotipo se encuentran dentro de los rangos normales reportados por los distintos autores del Cuadro 1, lo cual indica que los animales experimentales no presentaban ningún tipo de enfermedad, ya que produjeron la cantidad suficiente de hemoglobina y, por tanto, cantidad necesaria de oxígeno requerido para sus funciones vitales. Sin embargo, dichos niveles de HCM encontrados en este estudio no coinciden con los reportados por Gutiérrez-De La Rosa (1971), quien señala valores más elevados en ganado Hereford en comparación del ganado Brahman. Además, este autor reporta que los valores de glóbulos rojos, hemoglobina, hematocrito y CCMH estaban dentro de los rangos de referencia reportados por los distintos autores que se presentan en el Cuadro 1. Dichos resultados obtenidos concuerdan con los obtenidos por Cardoso et al. (2015), quienes reportan que en ganado cebú de distintas líneas, los valores de las variables antes mencionadas se encuentran dentro de los rangos que presentan los autores citados en el Cuadro 1, en el cual los animales se encontraban en similares condiciones ambientales a las de este estudio. En general, los cambios en los niveles de glóbulos rojos son indicativos de que ha ocurrido una

hemodilución o una hemoconcentración debido a una deficiencia en la capacidad osmoreguladora que ocurre en los animales después de experimentar estrés por calor, sin embargo, en este estudio se encontraron que los componentes de glóbulos rojos se encontraban dentro de los rangos reportados por distintos autores, lo cual sugiere que los animales se encontraban en condiciones de buena salud.

5.2.3. Plaquetas

El número de plaquetas en este estudio fue afectado por el tipo de sombra que presentaban los corrales experimentales en los que se encontraban los animales, sin embargo, no se encontraron publicaciones que reportaran resultados sobre esta variable por efecto del tipo de sombra, aunque sí se han reportado resultados sobre esta variable en ganado de distintas razas cebuinas bajo condiciones de estrés calórico. Este es el caso de Cardoso et al. (2015), quienes reportan efectos no significativos en el número plaquetas en ganado cebú de distintas razas y sometidos a estrés calórico. Esto es contradictorio a los resultados obtenidos en este estudio, probablemente porque sus resultados se deben a que los animales experimentales fueron de distinto sexo, además de encontrarse en corrales experimentales sin ningún tipo de protección contra los rayos solares durante todo el experimento. Aunado a eso, también se ha descrito que altas temperaturas disminuyen el número y concentraciones de plaquetas. La cascada de coagulación se altera de forma severa e incluso letal, además, el tiempo de la protrombina se incrementa junto con los factores de coagulación, lo cual provoca hemorragias difusas (Blecha, 2000).

5.3. Electrolitos sanguíneos

El consumo de alimento es el principal determinante de la ingesta de agua en los rumiantes que se encuentran bajo condiciones de estrés calórico, sin embargo, las mismas condiciones de calor incrementan la pérdidas considerable de agua, lo cual conlleva a una deshidratación y pérdida de electrolitos junto con ella (Beede y Collier, 1986); sin embargo, en este estudio se encontró que los niveles de electrolitos sanguíneos se encontraban dentro de los rangos de referencia, lo cual condujo a deducir que las condiciones ambientales en las cuales se encontraban los animales no fueron lo suficientemente drásticas como para causarles deshidratación, la cual resultaría en una inminente pérdida de electrolitos sanguíneos. Silanikove (2000) menciona que el animal puede activar mecanismos hipotalámicos de control del agua mediante la estimulación y secreción de la hormona vasopresina, evitando de esta manera la excreción de agua y pérdida de iones de electrolitos; esto puede ser otra posible explicación por la cual los animales no presentaron variaciones de sus niveles de electrolitos. Los niveles sanguíneos de potasio obtenidos en este estudio concuerdan con los obtenidos por Scaglione et al. (2003), quienes realizaron un experimento con vacas Holstein en condiciones de pastoreo en épocas de verano e invierno, encontrando que los niveles de este metabolito no fueron afectados por la época del año, sin embargo, encontraron que los niveles sanguíneos de sodio disminuyeron significativamente en verano.

En épocas de calor es muy común observar que los niveles plasmáticos de sodio disminuyan debido a un incremento de excreción urinaria de este metabolito. La baja producción de la hormona aldosterona y la hemoconcentración por el

aumento de ingestión de agua en animales bajo estrés calórico son las principales causas del incremento de orina y, por ende, de la disminución del sodio en plasma (Beatty et al., 2014). Dicho efecto, que se esperaba encontrar en el presente experimento no ocurrió, muy probablemente porque los animales se encontraban en estado de relativo confort por efecto de las sombras que presentaban los corrales. En contraste con el presente estudio, Beatty et al. (2014) reportaron que ganado *Bos indicus* y *Bos taurus* sometidos a estrés calórico disminuyeron sus niveles plasmático de sodio, sin encontrar diferencias significativas entre los dos genotipos, no obstante, los niveles de potasio y cloro en sangre no se vieron modificados por la época de calor ni por el genotipo del animal, resultados que concuerdan con el presente estudio. Scharft et al. (2014) realizaron un estudio para evaluar la capacidad termorreguladora en 2 razas de ganado *Bos taurus*. Los animales fueron alojados bajo condiciones de estrés calórico que consistía en la temperatura cíclica diaria del aire (26 ° C, noche; 36 ° C, día) durante 14 d. En sus resultados reportaron que los niveles sanguíneos de potasio y sodio no fueron afectados por altas temperaturas, resultados similares a los obtenidos en este trabajo.

5.4. Metabolitos sanguíneos

La cuantificación de metabolitos sanguíneos puede ser un buen indicativo de la capacidad de adaptación de un animal a los cambios ambientales por medio de alteraciones en la actividad metabólica (Sejian et al., 2010b). Entre los rumiantes, la especie ovina y caprina se consideran menos susceptibles a estrés calórico que la especie bovina (Ribeiro et al., 2014), y entre razas bovinas existen

diferencias en la susceptibilidad al estrés calórico, por lo que es de esperarse que los niveles de metabolitos sanguíneos sean afectados entre razas.

Los parámetros bioquímicos en sangre más evaluados en un animal son la glucosa y colesterol, que representan el metabolismo de la energía (Ribeiro et al., 2014), sin embargo, algunos estudios han demostrado que las temperaturas elevadas disminuyen los niveles de glucosa y colesterol, lo cual se considera como un indicador de fallas en la homeostasis (Ocak et al., 2009). La reducción de glucosa sanguínea puede presentarse debido a la hemodilución o debido a la mayor utilización de glucosa para producir mayor cantidad de energía requerida en la actividad muscular (Rasooli et al., 2004). Algunos trabajos en cabras (Bahga et al., 2009; Ocak et al., 2010), han reportado que los niveles de glucosa y colesterol se ven disminuidos en la época de calor. Dichos resultados se les atribuye a un incremento del consumo de agua y una reducción del consumo de alimento (Marai et al., 2008; Sejian et al., 2010b). Por lo anterior, en el presente estudio se esperaba que los niveles de glucosa sanguínea fueran afectados de forma negativa por efecto de un mayor consumo de agua, sin embargo, de forma inesperada los niveles de glucosa se incrementaron para ambos genotipos. Los niveles de glucosa se encontraron por arriba de lo normal (40-80 mg/dL) reportados para bovinos adultos (RAR, 2000).

De acuerdo a RAR (2000), los niveles de colesterol estuvieron elevados en ambos genotipos de ganado de este estudio, además, se encontraron efectos altamente significativos en los niveles de colesterol entre genotipos de ganado. Una posible hipótesis que daría respuesta a dicho resultado es que el ganado bovino en época de verano disminuye su consumo de alimento, observándose en

ganado europeo más marcada esta reducción del consumo de alimento que representa un mecanismo para disminuir la producción de calor metabólico, desencadenando de esta manera la utilización de sus reservas de lípidos para generar energía. De acuerdo a esa hipótesis, Rasooli et al. (2004) afirma que los incrementos de colesterol en sangre se deben a que existe un aumento en la utilización de ácidos grasos para la producción de energía, como consecuencia de la disminución de la concentración de glucosa en animales estresados por calor. Sin embargo, dichos resultados en este experimento no han sido consistentes, ya que los niveles de glucosa y colesterol fueron incrementados por el estrés calórico en ambos genotipos.

Los valores séricos de colesterol disminuyen como una respuesta a la demanda de síntesis de cortisol por efecto del estrés calórico (Ribeiro et al. 2014). El cortisol limita la utilización de glucosa como fuente de energía, movilizando otras reservas de energía como triglicéridos y proteínas (Bernabucci et al., 2010), lo cual indicaría que los niveles de proteína total y triglicéridos en la sangre se vieran incrementados. Sin embargo, de acuerdo a RAR (2000) los niveles de triglicéridos y proteína total para ambos genotipos de ganado en este experimento se encontraron dentro del rango normal, esto probablemente debido a que las concentraciones sanguíneas de glucosa se encontraban elevadas y las necesidades de energía se cubrían adecuadamente. Las cadenas hidrocarbonadas largas de los ácidos grasos son extraordinariamente eficaces para el almacenamiento de energía, ya que contienen carbono en una forma totalmente reducida y, por lo tanto, proporciona una cantidad máxima de energía con la oxidación (Mathews et al., 2004).

La concentración de urea sanguínea es usada como un indicador de la capacidad de retención o pérdida de nitrógeno por el riñón. Los rangos de concentración urea sanguínea reportados como normales presentan gran variación según la fuente. Merk (2016) reporta como valores normales 10 a 25 mg/dL, mientras que CEFA (2000) muestra valores como normales entre 6 y 27 mg/dL. Por lo tanto, los niveles de urea sanguínea en este estudio se encuentran dentro de los rangos normales de referencia, aunque sí se encontraron efectos significativos entre genotipos, teniendo mayor concentración de urea el ganado *Bos indicus*. Resultados similares reportaron Matsuzaki et al. (1997) al realizar un experimento con animales de genotipos *Bos indicus* y *Bos taurus* con la finalidad de caracterizar las respuestas fisiológicas entre razas de ganado, encontrando mayor concentración de urea sanguínea en ganado *Bos taurus* en comparación del ganado *Bos indicus*. Las diferencias en los niveles de urea sanguíneas los atribuyeron a que existen diferencias en requerimientos de energía para mantenimiento y ganancia en novillos maduros, por lo tanto, indica que la partición de nutrientes a varios tejidos del cuerpo difiere entre razas.

6. CONCLUSIÓN

En conclusión, las variables de hematología, electrolitos y metabolitos medidos en el presente estudio no presentaron diferencias importantes al ser clasificadas por genotipo y tipo de sombras, sin embargo, es conocido que los animales *Bos taurus* son más propensos a sufrir estrés calórico en comparación de los animales *Bos indicus*. Es posible que el nivel de estrés calórico experimentado en el periodo de estudio no fuera lo suficientemente intenso como para causar un cambio importante en las variables medidas, ya que muchas de ellas mantienen rangos estrechos y varían solo en condiciones de estrés severo.

Se sugiere continuar con este tipo de investigación para evaluar más profundamente las condiciones climáticas que modifiquen las respuestas fisiológicas y que conduzcan a repercusiones negativas en la productividad de bovinos de engorda en corral.

7. LITERATURA CITADA

- Abdel-Fattah, M.S. 2014. Changes in body fluids and plasma electrolytes (Na⁺ and K⁺) concentrations of Balady and Damascus goats exposed to heat stress in desert of Sinai, Egypt. *World Appl. Sci. J.* 30 (5): 534-542.
- Al-Haidary, A., D.E. Spiers, G.E. Rottinghaus, G.B. Garner and M.R. Ellersieck. 2001. Thermoregulatory ability of beef heifers following intake of endophyte-infected tall fescue during controlled heat challenge. *J. Anim. Sci.* 79:1780–1788.
- Ali-Gholi, R., A.R. Siamak and M. Daryoush. 2007. Influence of the short-term road transport stress on blood parameters in cows. *Rev. Med. Vet.* 63: 1311-1315.
- Allison, I., R.B. Alley, H.A Fricker, R.H. Thomas, R.C. Warner. 2009. Ice sheet mass balance and sea level. *Antarctic Sci.* 21: 413-426.
- Al-Saeed, H.M., K.A. Haidar and F.G. Rashad. 2009. Selective evaluation of certain blood and biochemical parameters of local cattle during winter and summer seasons *Bas. J. Vet. Res.* 8: 138-143.
- Arias, R.A., T.L. Mader, P. Escobar. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch. Med. Vet.* 40: 7-22.
- Avendaño-Reyes, L., F.D Álvarez, A. Correa-Calderón, N.G. Torrentera, V. Torres, D.E. Ray. 2011. Frecuencia de alimentación e iluminación nocturna y productividad de vaquillas para engorda en verano. *Arch. Zootec.* 60:1-8.
- Bahga, C.S., S.S. Sikka and S. Saijpal. 2009. Effect of seasonal stress on growth rate and serum enzyme levels in young crossbred calves. *Indian J. Anim. Res.* 43: 288-290.
- Beatty, D.T., A. Barnes, E. Taylor, D. Pethick, M. McCarthy and S.K. Maloney. 2014. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *J. Anim. Sci.* 84: 972–985.
- Berman, A. 2006. Extending the potential of evaporative cooling for heat-stress relief. *J. Dairy Sci.* 89: 3817–3825.
- Berman, A. 2009. Predicted limits for evaporative cooling in heat stress relief of cattle in warm. *J. Anim. Sci.* 87: 3413-3417.

- Bernabuccil, U., N.L. Lacetera, H. Baumgard, R.P. Rhoads, B. Ronchil and A. Nardone, 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *J. Anim. Consor.* 4: 1167–1183.
- Bhan, C., S.V. Singh, O.K. Hooda, R.C. Upadhyay, Beenam and M. Vaidya. 2012. Influence of temperature variability on physiological, hematological and biochemical profile of growing and adult sahiwal cattle. *J. Environment. Res. Develop.* 7: 986-984.
- Bond, T.E., C.F. Kelly and H. Heitman Jr. 1958: Improving livestock environment in high-temperature areas. *J. Hered.* 49: 75-79.
- Breede, D.K, and R.J. Collier. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.* 62: 543-554.
- Brown-Brandl, T., R. Eigenberg, J. Nienaber and G.L. Hahn. 2005. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. *Biosyst. Eng.* 90: 451-462.
- Brown-Brandl, T.M., J.A. Nienaber, R.A. Eigenberg, T.L. Mader, J.L. Morrow and J.W. Dailey. 2006. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livest. Sci.* 105: 19-26.
- Bueno, A.R., R. Rasby, E.T. Clemens. 2003. Age at weaning and the endocrine response to stress. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 55: 1-7.
- Buffington, D.E., A. Colazon-Arocho, G.H. Canton and D. Pitt, 1981. Black globe-humidity index (bghi) as comfort equation for dairy cows. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 24: 711-714.
- Buffington, D.E., R.J. Collier and G.H. Canton, 1983. Shade management system to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 26: 1798-1802.
- Cardoso, C.C., V. Peripolli, S.A. Amador, E.G. Brandão, G.I.F. Esteves, C.M.Z. Sousa, M.F.M.S. França, F.G. Gonçalves, F.A. Barbosa, T.C. Montalvão, C.F. Martins, A.M. Fonseca-Neto and C. McManus. 2015. Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livest. Prod. Sci.* 182: 83-92.
- Carvalho, F.A. Lammoglia, M.A. Simoes, M.J. and Randel R.D. 1995. Cattle subjected to heat stress Breed affects thermoregulation and epithelial morphology in imported and native *J. Anim. Sci.* 73:3570-3573.
- CCAC, 2009. Canadian Council on Animal Care. The care and use of farm animals in research, teaching and testing. In line: http://www.ccac.ca/Documents/Standards/Guidelines/Farm_Animals.pdf

- Collier, R.J., G.E. Dahl and M.J. VanBaale. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89: 1244-1253.
- Collier, R.J., R.M. Eley, A.K. Sharma, R.M. Pereira and D.E. Buffington, 1981. Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 64: 844–849.
- Cony, P., G.A. Casagrande, G.T. Vergara. 2004. Caloric stress index quantification for dairy cows in Anguil, la Pampa Argentina. *Rev. Fac. Agro.* 15: 326-333.
- Correa-Calderón, A., M. Morales, L. Avendaño, C. Leyva, F. Rivera, R. Díaz and S. Soto-Navarro, 2010. Artificial cooling as an alternative to increase productivity and welfare of steers under heat stress. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 1199-1205.
- Correa–Calderón, A., Y.V.M. Cantabrana, V.F.J. Zarate, L. Avendaño-Reyes, A.E. Álvarez, A.C.F. Flores and F.R. Acuña. 2007. Physiological and productive response of feedlot steers with an open space cooling system in an arid, dry climate. *Tec. Pec. Mex.* 45: 345-354.
- Cunningham, J.G. 2014. *Fisiología Veterinaria.* (5ta edición). Ed. Elsevier. México, D.F.
- Da Silva, R.G., L.N. Scala Jr. and P.P.L. Bersi. 2001. Transmission of ultraviolet radiation through the haircoat and the skin of cattle. *Rev. Bras. Zootec.* 30: 1939-1947.
- Davis, S. and T. L. Mader. 2003. Adjustments for wind speed and solar radiation to the temperature humidity index. *Nebraska Beef Cattle Reports:* 49-51.
- Dukes, H.H. y M.J. Swenson. 1978. Regulación de la temperatura y fisiología ambiental. *Fisiología de los Animales Domésticos.* Edit. Reece O.W. vol. 2: 1426-1428.
- Earley, B. and E. G. O’Riordan. 2006. Effects on transporting bulls at different space allowances on physiological, haematological and immunological responses to a 12-h journey by road. *Ir. J. Agric. Food Res.* 45:39.–50.
- Finch, V.A. 1985. Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds. *Aust. J. Agric. Res.* 36: 497–508.
- Gaughan, J.B., T.L. Mader, S.M. Holt and A. Lisle. 2008. A new heat load index for feedlot cattle, *J. Anim. Sci.* 86: 226-234.
- Gaughan, J.B., T.L. Mader, S.M. Holt, M.J. Josey and K.J. Rowan. 1999. Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *J. Anim. Sci.* 77:2398–2405.

- Gaughan, J.B., T.L. Mader, S.M. Holt, M.L. Sullivan and G.L. Hahn, 2009. Assessing the heat tolerance of 17 beef cattle genotypes. *Int. J. Biometeorol.* 54: 617-627.
- Gerrit, D., G. Hans-Dieter, and S. Matthaeus. 2005. Valores bioquímicos y hematológicos en bovinos. *Medicina Interna y Cirugía del Bovino*. 2da Ed. Interamericana, Argentina.
- Gross, W.G., P.B. Siegel, R.W. Hall, C.H. Domermuth and R.T. Duboise. 1980. Production and persistence of antibodies in chickens to sheep erythrocytes. *Poul. Sci.* 59: 205-210.
- Gutierrez-De La R, J.H., A. C. Warnick, J.J Cowley, and J. F. Hentges. 1971. Environmental physiology in the sub-tropics. Effect of continuous environmental stress on some hematological values of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 32: 968-973.
- Habeeb, A.A.M., F.I.T. Fatma and S.F. Osman. 2007. Detection of heat adaptability using heat shock proteins and some hormones in Egyptian buffalo calves. *Egypt. J. Appl. Sci.*, 22: 28–53.
- Hahn, G.L., T.L. Mader, R.A. Eigenberg, 2003. Perspective on development of thermal indices for animal studies and management in: Lacetera, N.U. Bernabucci, H.H. Khalifa, B. Ronchi and A. Nardone (eds.) *Interactions between climate and animal production No. EAAP Technical Series No. 7.* p 31-44.
- Hall, M., Brouk, P. Murphy, 2000. Reducing heat stress in holding pens. *Howard's Dairyman*. Ago. 2000. pp 290.
- Hansen, P.J. 2004. Physiological and cellular adaptation of zebu cattle to thermal stress. *Anim. Reprod. Sci.* 82–83, 349–360.
- Harmer, J.J., M. Smith, P. Brouk, Murphy. 2000. Reducing heat stress in holding pens. *Howard's Dairyman*. K. State, 3: 1-8.
- Hoffman, I. 2010. Climate changes the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. J. compilation, *International Society for Animal Genetics, Immunogenetics, Molecular Genetics and Functional Genomics*. *Anim. Genet.* 41: 32-46.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. In: *Summary for Policy Makers*. Intergovernmental Panel on Climate Change, ISSN 0971-2062, Available from. <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>

- Iriadam, M. 2007. Variation in certain hematological and biochemical parameters during the peri-partum period in Kilis does. *Small Ruminant Res.* 73:54–57.
- Laboratorio 9 de Julio (IRAM). 2008. Parámetros hematológicos y bioquímicos séricos de distintas especies. En línea. http://www.lab9dejulio.com.ar/informacion-tecnica/parametros-hematologicos-y-bioquimicos-sericos-de-distintas-especies_a289.
- Landaeta-Hernández, A., S. Zambrano-Nava, P.J. Hernández-Fonseca, R. Godoy, M. Calles, L.J. Irigorri, L. Añez, M. Polanco, M. Montero-Urdaneta and T. Olson. 2010. Variability of hair coat and skin traits as related to adaptation in Criollo Limonero cattle. *Trop. Anim. Health Prod.* 43: 657-663.
- Lee, E. and M.E. Kehrl, 1998. Expression of adhesion molecules on neutrophils of periparturient cows and neonatal calves. *Anim. J. Vet. Res.* 59:37.
- Lloyd, D.H. y A.P. Patel. 2008. Estructuras y funciones de la piel. Manual de dermatología en pequeños animales y exóticos. J. M. Sastre Vida. España.
- López, E.A.D., L.F.U. Velásquez, W.N. Solarte. 2014. Bioquímica sanguínea y concentración plasmática de corticosterona en pollo de engorde bajo estrés calórico. *Rev. Med. Vet.* 28: 31-42.
- Macías-Cruz, U., M.A. López-Baca, R. Vicente, A. Mejía, F.D. Álvarez, A. Correa-Calderón, C.A. Meza-Herrera and M. Mellado. 2015. 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.* 60: 1279-1286.
- Mader, T.L., M.S. Davis and T. Brown-Brandl. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84: 712-719.
- Maia, A.S.C., R.G. Da Silva, E.C.A. Bertipaglia. 2005. Environmental and genetic variation of the effective radiative properties of the coat of Holstein cattle under tropical conditions. *Livest. Prod. Sci.*, 92(3): 307-315.
- Maia, C.S.A., D.S.R. Gomez and A.C.E. Bertipaglia. 2003. Haircoat traits in Holstein cows in tropical environments: a genetic and adaptative study. *R. Bras. Zootec. Vet.* 32: 843-853.
- Marai, I.F.M. and A.A.M. Haebe. 2010. Buffalo's biological functions as affected by heat stress — A review. *Livest. Sci.* 127: 89–109.
- Marai, I.F.M., A.A. El-Darawany, A. Fadiel, and M.A.M. Abdel-Hafez. 2008. Reproductive performance traits as affected by heat stress and its alleviation in sheep. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 8: 209-234.

- Martínez, Y., B. Chongo, L. Pizarro, E. Castillo. 2001. Una nota acerca de las concentraciones de hormonas tiroideas de toros de ceba que consumieron *Leucaena leucocephala*. *Rev. Sci. Agr.* 4: 379-381.
- Mathews, C.K., K.E. Van-Holde, y K.G. Ahern. 2004. *Bioquímica*. Editorial Addison Wesley, España.
- Matsuzaki, M., S. Takizawa and M. Ogawa, 1997. Plasma insulin, metabolite concentrations, and carcass characteristics of Japanese black, Japanese brown and Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 75: 3287-3293.
- McManus, C., H. Louvandini, R. Gugel, S.L.C. Bastos, E. Bianchini, B.F.E. Moreno, S.P. Rezende and P.T. Prado 2010. Skin and coat traits in sheep in Brazil and their relation with heat tolerance. *Trop. Anim. Health Prod.* 43: 121-126.
- Morberg, G.P. 2000. Biological responses to stress. Implications for animal welfare. In: Moberg G.P. and Mench, J.P. (eds.) *The biology of animal stress: Basic principles and implications for animal welfare*. CAB International, Wallingford, UK.
- Mundim, A.V., A.S. Costa, S. A. P. Mundim, E.C. Guimarães and F.S. Espindola, 2007. Influence of parity and stage of lactation on the blood biochemical profile of Saanen goats. *Arch. Bras. Med. Vet. Zootec.* 59: 306-312.
- Navas, P.A. 2010. Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Rev. Med. Vet.* 19: 113-122.
- Nienaber, J.A. and G.L. Hahn. 2007. Livestock production system management responses to thermal challenges. *Int. J. Biometeorol.* 52: 149-157.
- Nunes, S.A., R.O. Barbosa, E.S. Sakaguti, L.M. Doi Sakuno, T.E.M. De Araujo and P.C. Da Silva, 2002. Effect of two regimes of alimentary supplementation and two systems of production on blood traits of dairy goats bred. *Rev. Bras. Zootec.* 31: 1245-1250.
- Ocak, S. and O. Guney. 2010. Physiological responses and some blood parameters of bucks under Mediterranean climate condition. *J. Agri. Sci.* 25: 113-119.
- Ocak, S., N. Darcan, S. Cankaya and T. Cinal. 2009. Physiological and biochemical responses in German Fawn kids subjected to cooling treatments under mediterranean climate conditions. *Tur. J. Vet. Anim. Sci.* 33: 455-461.

- Ortiz, X.A., J.F. Smith, B.J. Bradford, J.P. Harner and A. Oddy, 2010. Effects of running time of a cattle-cooling system on core body temperature of cows on dairy farms in an arid environment. *J. Dairy Sci.* 93: 4949–4954.
- Pereira, F.A.M., E. Titto, P. Infante, G.C. Titto, M.A. Geraldo, A. Alves, T. Leme, F. Baccari Jr. and J.A. Almeida. 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.
- Pereira, M.F., Baccari Jr., A.L. Evaldo and J.A. Almeida, 2007. 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.* 52: 199–208.
- Rasooli, A., M. Nouri, G.H. Khadjeh and A. Rasekh, 2000. The influences of seasonal variations on thyroid activity and some biochemical parameters of cattle. *Iran. J. Vet. Res.* 5: 10-138.
- Rasooli, A., M. Nouri, G.H. Khadjeh and A. Rasekh. 2004. The influences of seasonal variations on thyroid activity and some biochemical parameters of cattle. *Iran, J. Vet. Res.* 5: 1383-1391.
- Reece, W.O. 2006. Fisiologia dos Animais Domésticos. In: DUKES, H. H. SWENSON, M. J. Fisiologia dos animais domésticos. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. p. 199-205.
- Research Animal Resources (RAR). 2000. Reference values for laboratory animals. University of Minnesota. (Online). [Www.Ahc.umn.edu/rar/refvalues.html](http://www.Ahc.umn.edu/rar/refvalues.html).
- Ribeiro, L.N., N.M. Ribeiro, R. Bozzi, E.N.P. Givisiez and G.R. Costa 2014. Physiological and biochemical blood parameters of goats subjected to heat stress. *J. Biomed. Environment. Sci.* 09: 29-35.
- Ribeiro, N.L. 2013. Estudo do perfil genético e adaptativo de caprinos do grupo genético brasileiro azul e da raça italiana garfagnina. Tese, Universidade Federal da Paraíba.
- Richards, S.A. 1973. Temperature Regulation. Wykeham Publications, London, Great Britain. Pp. 212.
- SAGARPA, 2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Programa Nacional Pecuário 2007-2012. México. Pp. 42.
- Samanc, H., D. Kirovski, V. Stojic, D. Stojanovic, I. Vujanac, R. Prodanovic and S. Bojkovic-Kovacevic. 2011. Application of the metabolic profile test in the

- prediction and diagnosis of fatty liver in Holstein cows. *Acta Veterinaria* 61: 543-553.
- Sandoval, G.L., S. Dellamea, D.O. Pochon and C.M.V. Vaca. 1997. Calcio, fósforo, magnesio y fosfatasa alcalina en vacas lecheras de una región subtropical suplementadas con óxido de magnesio. *Rev. Vet. Mex.* 29: 131-136.
- Scaglione, M.C., R.D. Cerutti, R.L. Althaus, S.E. Valtorta, D.C. Diaz and J.C. Boggio. 2003. Variaciones diarias en concentraciones plasmáticas de sodio y potasio en bovinos Holstein. *Rev. Sci. Vet.* 72: 73-80.
- Schalm y O. William. 1964. *Hematología Veterinaria*. Editorial Hispano Americano. 4: 1981 – 857.
- Scharf, B., J.A. Carroll, D.G. Riley, C.C. Chase Jr., S.W. Coleman, D.H. Keisler, R.L. Weaver and D.E. Spiers. 2014. 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.* 88: 2321–2336.
- Schutz, K.E., N.R.Cox and L.R. Matthews. 2008. How important is shade to dairy cattle? Choice between shade or lying following different levels of lying deprivation. *App. Anim. Behav. Sci.* 114: 307-318.
- Sejian, V., V.P. Maurya, S.M.K. Naqvi. 2010a. Adaptability and growth of Malpura ewes subjected to thermal and nutritional stress. *Trop. Anim. Health. Prod.* 42: 1763-1770.
- Sejian, V., V.P. Maurya, S.M.K. Naqvi. 2010b. 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.* 54: 653-661.
- Shehab, M., M. Fadel, A. Van Soest, S. Saleh, D. Maes and L. Leroy. 2010. Circadian rhythm of metabolic changes associated with summer heat stress in high-producing Dairy cattle. *Trop. Anim. Health Prod.* 42: 1119-1125.
- SIAP, 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Población de bovinos en México. SAGARPA, D.F. México. Disponible en línea: <http://www.siap.gob.mx/poblacion-ganadera/>.
- SIAP, 2014. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Consultado 29-12-2014 en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>.

- Silanikove, N. 1993. The struggle to maintain hydration and osmoregulation in animals experiencing severe dehydration and rapid rehydration: the story of ruminants. *Experim. Phys.* 79: 281-300.
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 67, 1-18.
- Silva, R.G. 2000. Introdução à bioclimatologia animal. Adaptação animal Bioclimatologia Biometeorologia Nobel, São Paulo.
- Stanger, K.J., N. Ketheesan, A.J. Parker, C.J. Coleman, S.M. Lazzaroni and L.A. Fitzpatrick. 2005. The effect of transportation on the immune status of *Bos indicus* steers. *J Anim. Sci.* 83:2632-2636.
- Sullivan, M.L., A.J. Cawdell-Smith, T.L. Mader and J.B. Gaughan. 2011. Effect of shade area on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 89: 2911–2925.
- The Merck Veterinary Manual. 2008. Valores Hematológicos normales de animales domésticos. En línea. <http://patologiaclinicavet.blogspot.mx/2008/08/valores-hematologicos-normales-de.html>.
- The Merck Veterinary Manual. 2016. Hematologic Reference Ranges. En línea. http://www.merckvetmanual.com/mvm/appendixes/reference_guides/hematologic_reference_ranges.html.
- Thom, E.C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise.* 12: 57-59.
- Todini, L., A. Malfatti, A. Valbonesi, M. Trabalza-Marinucci and A. Debenedetti, 2007. Plasma total T3 and T4 concentrations in goats at different physiological stages, as affected by the energy intake. *Small Ruminant Res.* 68: 285–290.
- Tucker, C.B., A.R. Rogers and K.E. Schutz, 2008. Effect of solar radiation on dairy cattle behavior, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *App. Anim. Beha. Sci.* 109: 141-154.
- Wegner, T.N., J.D. Schuh, F.E. Nelson and G.H. Stott. 1974. Effect of stress on blood leucocyte and milk somatic cell counts in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 59: 949-956.
- West, J.W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86: 2131–2144.
- Wittwer, F. 2000. 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.

Wittwer, F., H. Böhmwald. 1983. Manual de Patología Clínica Veterinaria. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile.

Yousef, M.K. 1985. Heat production mechanism and regulation In: Yousef, K.J (ed) Stress Physiology in Livestock. Vol 2. Basic Principles, p.175-194.