

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Instituto de Ciencias Agrícolas



**EFFECTO DE ÉPOCA DEL AÑO (VERANO VS INVIERNO) EN
VARIABLES FISIOLÓGICAS Y METABÓLICAS DE CORDEROS
EN ENGORDA EN UNA REGIÓN ÁRIDA**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA

PORFIRIO NICOLÁS LÓPEZ

DIRECTOR


DR. LEONEL AVENDAÑO REYES

La presente tesis "EFECTO DE LA ÉPOCA DEL AÑO (VERANO VS INVIERNO) EN VARIABLES FISIOLÓGICAS Y METABÓLICAS DE CORDEROS EN ENGORDA EN UNA REGIÓN ÁRIDA" realizada por el C. Porfirio Nicolás López, y dirigida por el Ph. D. Leonel Avendaño Reyes, ha sido evaluada y aprobada por el Comité particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

COMITÉ PARTICULAR

Presidente/Director de tesis



Ph.D. Leonel Avendaño Reyes

Sinodal



Dr. Ulises Macías Cruz

Sinodal



Dr. Abelardo Correa Calderón

"POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE"

Ejido Nuevo León, Mexicali Baja California México; agosto 2019.

AGRADECIMIENTOS

A Dios padre por darme salud, y por poner en mi camino a las personas correctas que hoy admiro y considero parte importante de mi formación profesional y personal.

Al Instituto de Ciencias Agrícolas y a la Universidad Autónoma de Baja California por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría; así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el apoyo económico.

A toda mi familia por el apoyo que me brindaron y sacrificio que hicieron para que lograra culminar todos mis estudios, en verdad muchas gracias.

A Karen, por todo su amor, cuidado, por creer en mí en todo momento y por tu apoyo incondicional en esta y todas las etapas que hemos de vivir juntos, gracias mi vida.

A mi director de tesis, Ph.D. Leonel Avendaño Reyes por todo su apoyo, confianza y enseñanzas que me brindo para culminar este proyecto.

A mis asesores, Dr. Ulises Macías Cruz y Dr. Abelardo Correa Calderón por compartir sus conocimientos en el salón de clases; así como los consejos y enseñanzas para la culminación de este proyecto.

A mis compañeros y a todas las personas que me ayudaron en todo momento para la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

A la memoria de mi abuelita Rosa que siempre me mencionó en sus oraciones, por decirme que no dejara de echarle ganas y que en todo momento tuviera fe en Dios padre.

A mis padres Porfirio y Anastasia y a mi abuelo Alfonso. No hay palabras para terminar de agradecerles todo lo que han hecho por mí, por todo su apoyo, consejos y sacrificios. Es difícil estar lejos de ustedes aun cuando sé que están ahí para apoyarme. Cuánta razón tenían cuando me decían “Cuando seas grande lo entenderás”.

A mis hermanos, Javi y Luis, para que nunca se den por vencidos y cumplan todos sus sueños y proyectos.

A Karen, no importa como sea el camino ni cuánto tiempo nos tome terminar de recorrerlo, siempre que estemos juntos y de la mano me sentiré seguro. Te amo.

ÍNDICE TEMÁTICO

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE TEMÁTICO	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Zona termoneutral de los ovinos de pelo.....	3
2.2. Índice temperatura-humedad en ovinos.....	4
2.3. Mecanismos de termorregulación en ovinos de pelo	4
2.3.1 Adaptaciones fisiológicas en ovinos de pelo	5
2.4. Termografía infrarroja en la evaluación de fisiología animal	8
2.5. Componentes sanguíneos asociados al estrés.....	9
2.5.1. Hormonas.....	9
2.5.2. Metabolitos	10
2.5.3. Electrolitos.....	12
2.5.4. Perfil hematológico	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. Características de la zona experimental	15
3.2. Animales y manejo previo al experimento	15
3.3. Alojamiento y procedimiento experimental	16
3.4. Formulación y composición química de la dieta	16

3.5.1. Variables climáticas	18
3.5.2. Variables fisiológicas.....	18
3.5.3. Muestras sanguíneas.....	19
3.6. Análisis estadístico	19
IV. RESULTADOS	21
4.1. Variables climáticas	21
4.2. Variables fisiológicas.....	22
4.4. Componentes sanguíneos.....	26
4.5. Perfil hematológico	28
V. DISCUSIÓN	29
5.1. Condiciones Climáticas	29
5.2. Variables fisiológicas.....	29
5.3. Termografía infrarroja.....	31
5.4. Hormonas tiroideas.....	32
5.5 Metabolitos	33
5.6. Electrolitos.....	35
5.7. Perfil hematológico	36
VI. CONCLUSIONES	38
VII. LITERATURA CITADA	39

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Ingredientes de la dieta ofrecida a los corderos durante invierno y verano y su composición química.....	17
Cuadro 2.	Promedios de las variables climáticas registradas en invierno y verano durante el estudio.....	21
Cuadro 3.	Efecto de la época del año en el comportamiento productivo y concentraciones séricas de hormonas tiroideas, metabolitos y electrolitos de corderos finalizados en corral.....	28
Cuadro 4.	Efecto de la época del año en los componentes hematológicos de corderos finalizados en corral.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Variación circadiana de la temperatura ambiental (T_a) e índice temperatura-humedad (ITH) durante el periodo experimental en invierno y verano	22
Figura 2.	Promedios de temperatura rectal y frecuencia respiratoria de corderos en finalización por hora durante invierno y verano.....	23
Figura 3.	Temperaturas superficiales de cabeza, hocico, ojo, oreja, paleta y lomo de los ovinos registradas por termografía infrarroja durante el periodo experimental.....	24
Figura 4.	Temperaturas superficiales de costilla, cuello, flanco derecho, pierna y anca de los ovinos registradas por termografía infrarroja durante el periodo experimental.....	25
Figura 5.	Temperaturas superficiales de los testículos de los ovinos registradas por termografía infrarroja durante el periodo experimental.....	26
Figura 7.	Consumo de agua de los ovinos por época del año.....	26

RESUMEN

Se utilizaron 20 corderos Dorper x Katahdin para evaluar el efecto de época del año (invierno vs verano) sobre variables fisiológicas, metabólicas y hematológicas en una zona árida del Noroeste de México. En cada época (n= 10), los corderos se confinaron en corraletas individuales por 30 d y se midió frecuencia respiratoria, temperatura rectal, temperatura de la superficie de pelo y temperatura testicular en los horarios de 6:00, 12:00 y 1800 h cada 4 d. También se colectaron muestras sanguíneas en el horario de 6:00 h. Los datos obtenidos se analizaron bajo un diseño completamente al azar con y sin mediciones repetidas en el tiempo. La temperatura rectal, temperatura de la superficie de pelo y frecuencia respiratoria fueron más altas ($P<0.01$) en verano que en invierno. La temperatura en los polos inferiores de los testículos fue más elevada en verano ($P<0.01$), no obstante, en los polos superiores y partes medias de los testículos no hubo diferencias ($P>0.05$) entre épocas. Las concentraciones de tiroxina y triiodotironina fueron menores en verano ($P<0.01$) que en invierno. Las concentraciones de glucosa, colesterol y urea fueron mayores ($P<0.01$) en verano que en invierno, pero en triglicéridos no hubo diferencia ($P>0.05$) entre épocas. Los niveles de sodio y cloro fueron mayores en verano ($P<0.01$), sin embargo, los de potasio fueron mayores en invierno ($P<0.01$). Los glóbulos rojos, hemoglobina, hematocrito, concentración corpuscular media de hemoglobina, ancho de distribución de eritrocitos, volumen medio de plaquetas y ancho de distribución del tamaño plaquetario fueron menores en verano ($P<0.05$), sin embargo, los leucocitos, volumen corpuscular medio y hemoglobina corpuscular media fueron mayores en invierno ($P<0.01$). El ancho de distribución de eritrocitos fue similar entre épocas ($P>0.05$). Los corderos experimentaron estrés calórico en verano, lo que modificó las respuestas fisiológicas, metabólicas y hematológicas en comparación a las condiciones de invierno. Sin embargo, la mayoría de estas variables se encuentran dentro de los rangos de referencia en esta especie, lo que sugiere que los ovinos de pelo activan mecanismos de termorregulación en verano que les permite desarrollar sus funciones vitales sin tener un efecto drástico negativo en el desempeño productivo durante la etapa de finalización de la engorda bajo condiciones de un clima árido.

Palabras clave: *Temperatura rectal, frecuencia respiratoria, glucosa, hematología, estrés calórico.*

ABSTRACT

Twenty Dorper x Katahdin lambs were used to evaluate the effect of season of the year (winter vs summer) on physiological, metabolic, and hematological variables in an arid area of northwestern Mexico. For each season (n = 10), the lambs were confined in individual pens during 30 d and respiratory rate, rectal temperature, hair surface temperature and testicular temperature were measured at 6:00, 12:00 and 18:00 h every 4 d. Also, blood samples were also collected at 6:00 h. The data were analyzed under a completely randomized design with or without repeated measures over time. Rectal temperature, respiratory rate and hair surface temperature were higher ($P < 0.01$) in summer than in winter. Testicle temperature in the bottom part was higher ($P < 0.01$) in summer, but that of the top and middle parts of the testicle were similar ($P > 0.05$) between seasons. Serum concentrations of thyroxine and triiodothyronine were lower in summer ($P < 0.01$) than in winter. Serum levels of glucose, cholesterol and urea were higher in summer ($P < 0.01$); however, serum triglycerides were similar ($P > 0.05$) between seasons. Serum concentrations of sodium and chlorine were higher in summer ($P < 0.01$); however, serum potassium concentrations were higher in winter ($P < 0.01$). Red blood cells, hemoglobin, hematocrit, mean corpuscular concentration of hemoglobin, distribution width of erythrocytes, mean volume of platelets, and width of platelet size distribution were lower in summer ($P < 0.05$), while leukocyte, mean corpuscular volume and mean corpuscular hemoglobin were higher ($P < 0.01$) in winter. The distribution width of erythrocytes was unaffected ($P > 0.05$) by season. Fattening lambs experimented heat stress during the summer season, which modified their physiological, metabolic, and hematological responses compared to winter conditions. However, most of these responses are within the reference range of this specie, suggesting that hair sheep activate thermoregulatory mechanisms in summer that allow them to develop vital functions unaffacting drastically the productive performance of the end of the fattening stage under conditions of an arid climate.

Palabras clave: *Rectal temperature, respiratory rate, glucose, hematology, heat stress.*

I. INTRODUCCIÓN

Las emisiones de los gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y otros) a la atmósfera son la mayor causa del calentamiento global (Aleena et al., 2016), siendo el sector ganadero responsable del 40 % de las emisiones de metano anualmente (Koneswaran y Nierenberg, 2008). No obstante, que los países industrializados son los mayores generadores de estos gases, los países en desarrollo son los más vulnerables a este fenómeno meteorológico por la falta de recursos financieros, sociales y tecnológicos (Binsiya et al., 2017) para adaptarse al impacto del cambio climático, viéndose afectadas su población humana y ganadera (FAO, 2007). La predicción del aumento en temperatura ambiental (entre 1.8 y 4 °C para el año 2100), la disminución de la precipitación pluvial y el consecuente incremento de la sequía, afectarán el crecimiento y la capacidad productiva de los animales domésticos porque se compromete su homeostasis (Thornton, 2010). De igual manera, se ha incrementado la mortalidad de los animales en verano, esto como respuesta a la incapacidad de mantener normotermia (Al-Dawood et al., 2017). Estos factores representan una amenaza para el sector ganadero en zonas donde las temperaturas normales han aumentado, así como en zonas donde habitualmente ya son elevadas, como en regiones áridas (Nardone et al., 2010).

El noroeste de México comprende una región árida y semi-árida con clima seco, donde las temperaturas elevadas del verano son en muchos casos extremas; por lo tanto, los animales domésticos que se explotan a la intemperie experimentan condiciones de estrés por calor durante varias horas del día (Macías-Cruz et al., 2018). A pesar de que el ganado ovino de raza de pelo tiene una mayor adaptabilidad a temperaturas altas de verano comparado con razas lanares (Correa et al., 2012), su capacidad productiva también es afectada por el ambiente cálido al provocar condiciones de estrés calórico (Silanikove, 2000).

El estrés calórico es un factor que influye negativamente en el comportamiento productivo de rumiantes, ya que los requerimientos energéticos para mantenimiento y ganancia de peso se incrementan. Esto se debe a que parte de la energía consumida se desvía a la activación de mecanismos termorregulatorios, los cuales tienen la función de

mantener condiciones de normotermia en el animal (Indu and Pareek, 2015). Como una medida para reducir la producción de calor metabólico, los ovinos expuestos a temperaturas altas disminuyen su consumo de alimento, ocasionando baja ganancia de peso, y consecuentemente, pérdidas de peso corporal (Al-Dawood et al., 2017). Así, las condiciones de estrés calórico provocan un desbalance nutricional en los ovinos, modificando no sólo el metabolismo sino también las respuestas hormonales, el balance hídrico y el perfil hematológico. Estas modificaciones pueden comprometer el estado de salud general de los animales. De igual manera, los ovinos emplean mecanismos fisiológicos para mitigar el exceso de calor, tales como redirección del flujo sanguíneo a tejidos periféricos, así como un aumento en la frecuencia cardiaca, consumo de agua, tasa respiratoria y tasa de sudoración (Marai et al., 2007; Macías-Cruz et al., 2018a).

Cabe mencionar que la mayoría de la información derivada de la investigación sobre el efecto del estrés calórico en fisiología y metabolismo de ovinos de engorda, se ha realizado en razas lanares; por lo tanto, la ausencia de estudios sobre los efectos del estrés calórico y características de adaptación en razas de ovinos de pelo motivan a investigar sobre este aspecto de la producción animal. Bajo la hipótesis de que ovinos de pelo engordados durante el verano presentarán una tasa de crecimiento reducida, así como también efectos negativos en distintas constantes fisiológicas, metabólicas y hematológicas que los engordados en invierno. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de estrés calórico estacional (invierno vs. verano) sobre variables fisiológicas, metabolismo y perfil hematológico de corderos de pelo en finalización de la engorda en corral.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Los ovinos viven en un estado de cercana interacción entre la complejidad de los procesos físicos y químicos de su propio cuerpo y el medio ambiente que los rodea (Arias et al., 2008). Los ovinos de pelo experimentan un incremento de temperatura corporal en respuesta a distintos factores ambientales como la temperatura ambiental, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento (Hahn et al., 2003). Los episodios de hipertermia durante la exposición excesiva al calor son el resultado de la disminución del gradiente térmico entre el animal y el entorno y, como consecuencia, la pérdida de calor sensible se vuelve menos efectiva (Al-Haidary et al., 2004). Esta habilidad de termorregulación es el medio por el cual los ovinos mantienen su homeostasis térmica e implica un equilibrio entre la pérdida y la ganancia de calor (Al-Dawood et al., 2017).

2.1. Zona termoneutral de los ovinos de pelo

La zona termoneutral (ZTN) se considera como el rango de temperatura ambiental en el cual los ovinos se ven favorecidos para su producción y bienestar, ya que no requieren la utilización de energía adicional para mantener su temperatura del cuerpo (Silanikove et al., 2000). Sejian et al. (2017b) mencionan que la ZTN para ovinos se encuentra entre 12 a 25 °C. Por su parte, Neves et al. (2009) reportan que el límite superior de la ZTN exclusiva para los ovinos de razas de pelo puede llegar hasta 30°C, demostrando que estas razas se desarrollan mejor en climas áridos o subtropicales en comparación con razas de lana. Lo anterior puede estar asociado al lugar de origen de razas de pelo como Dorper y Katahdin (Sudáfrica y Estados Unidos, respectivamente), las cuales se desarrollaron con condiciones climáticas similares a las cálidas (Saraiva et al., 2017). Cuando la temperatura interna de los ovinos supera el límite superior de la ZTN, comienzan a experimentar estrés calórico. El estrés calórico se define como la excesiva carga de calor del animal y la incapacidad de éste para mantener en equilibrio su temperatura corporal y su disipación.

2.2. Índice temperatura-humedad en ovinos

El grado o nivel de estrés calórico que sufren los ovinos de pelo puede ser medido por medio del índice temperatura-humedad (ITH), el cual incluye en su estimación las variables climáticas temperatura ambiental (T_a) y humedad relativa (HR). Marai et al. (2007) clasifican el estrés calórico en las siguientes categorías en función de las unidades que se presente el ITH: ausencia de estrés (< 22.2), estrés moderado (22.2 a < 23.3 unidades), estrés severo (23.3 a < 25.6 unidades) y estrés muy severo (≥ 25.6 unidades), utilizando la siguiente fórmula para su estimación: $ITH = tbs\text{ }^\circ\text{C} - [(0.31 - 0.31\text{ HR}) (tbs\text{ }^\circ\text{C} - 14.4)]$, donde: tbs es la temperatura del bulbo seco ($^\circ\text{C}$) y HR es la humedad relativa. Por otra parte, Hahn et al. (1999) clasifican al estrés calórico en cuatro categorías: ausencia de estrés calórico (≤ 74 unidades), estado de alerta (75 a 78 unidades), estado de peligro (79 a 83 unidades) y estado de emergencia (≥ 84 unidades) sugiriendo la siguiente fórmula para su estimación: $ITH = 0.81 \times Te + RH (Ta - 14.40) - 46.40$. La tolerancia que tienen los ovinos de pelo a las altas temperaturas es debido a adaptaciones genéticas y fenotípicas, además de la efectiva activación de mecanismos fisiológicos, metabólicos y endocrinos para controlarla (Afsal et al., 2018; Vicente-Pérez et al., en prensa).

2.3. Mecanismos de termorregulación en ovinos de pelo

Los ovinos de pelo fueron desarrollados en climas tropicales, subtropicales y áridos; por lo tanto, presentan cierta tolerancia y adaptación a las condiciones de elevadas temperaturas (Saraiva et al., 2017). En parte, esto se debe a sus características fenotípicas, así como a la activación eficiente de mecanismos termorregulatorios para el adecuado mantenimiento de la temperatura corporal en condiciones cálidas (Al-Dawood, 2017). Una de las características de adaptación al estrés calórico es la talla de los ovinos, es decir, son animales de baja talla o bajo peso que disipan mejor la energía calórica en comparación con animales de tallas más grandes o con mayor peso. Esto se debe a que, a menor tamaño, mayor es la proporción de superficie de contacto para favorecer la pérdida de calor por conducción (Lenis et al., 2015). En un estudio realizado por Macías-Cruz et al. (2018) donde compararon corderas y ovejas adultas, las corderas disiparon

3.3 % más la temperatura de la piel que las ovejas adultas, lo que fue atribuido a que las corderas tenían 40 % menos peso vivo que ovejas adultas, y porque su relación peso vivo:área fue mayor para la disipación del calor.

Por otra parte, Correa et al. (2012) mencionan que las razas de pelo presentan una piel más delgada y con más glándulas sudoríparas por cm² que razas de lana, lo que les permite una mayor disipación del calor interno a través de la piel por medio de radiación y sudoración. Aunado a esto, la piel presenta una baja cantidad de grasa subcutánea y mejor distribución en zonas específicas del cuerpo solo para utilizarse como reservas de energía (Shakirullah et al., 2017). De igual manera, la pigmentación en la piel de los ovinos de pelo es necesaria para la protección de algunos tejidos profundos contra la excesiva exposición de radiación solar, debido a que la piel oscura impediría la penetración de los rayos ultravioleta (Castanheira et al., 2010; McManus et al., 2011).

La presencia de pelo en lugar de lana es una ventaja para la pérdida de calor por medio de mecanismos de regulación evaporativos y no evaporativos (Vicente-Pérez et al., en prensa). Características del pelo de los ovinos, como el ser delgado, corto, poco denso y de colores claros permite que el calor en la superficie del cuerpo sea disipado eficientemente al ambiente por medio de convección y radiación, ya que el viento puede circular mejor entre ese tipo de pelaje, favoreciendo la transferencia de calor (Da Silva, 2000). Los animales con pelaje oscuro, corto y grueso son más propensos a sufrir estrés calórico por una mayor absorción de radiación térmica. Por otro lado, animales con capas más claras reflejan más luz y absorben entre 40 y 50% menos radiación que aquellos con capas oscuras (McManus et al., 2011). Como una medida para producir la menor cantidad de calor metabólico, los ovinos expuestos a altas temperaturas disminuyen el consumo de alimento y parcialmente distribuyen la energía disponible para activar mecanismos de termorregulación de tipo fisiológico, metabólico y endócrino.

2.3.1 Adaptaciones fisiológicas en ovinos de pelo

Al rebasar el límite superior de su zona termoneutral, los termorreceptores ubicados en la piel y vísceras envían señales al hipotálamo para producir diferentes respuestas fisiológicas de termorregulación (Marai et al., 2007). Estas respuestas consisten en el

aumento de la frecuencia respiratoria (FR), temperatura rectal (TR), frecuencia cardiaca (FC), temperatura de superficie de pelo (TP) y tasa de sudoración (Rashamol et al., 2018), que al seguir un ritmo circadiano disminuyen la carga de calor y evitan un excesivo gasto de energía y desbalance hídrico (Macías-Cruz et al., 2016).

Por acción de las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina), uno de los primeros ajustes fisiológicos es re-direccionar el flujo de sangre a la periferia por medio del aumento de la frecuencia cardiaca, la vasodilatación de los vasos sanguíneos de la piel y la vasoconstricción de los vasos que suministran sangre a los órganos internos (Afsal et al., 2018). En un estudio realizado por Chauhan et al. (2014), se reportó que la frecuencia cardiaca incrementó durante las horas más calientes de la tarde hasta llegar a un pico, mientras que por la noche fue disminuyendo (79.3, 93.9, 96.4 y 90.5 latidos/min a las 900, 1300, 1700 y 2100 h, respectivamente). Estos resultados concuerdan con lo obtenido por otros autores (Al-Haidary et al., 2004; 2012) que relacionaron esta variación circadiana con la variación de las pérdidas de calor no evaporativas.

En estudios realizados en ovejas Dorper x Pelibuey, Macías-Cruz et al. (2016; 2018) determinaron que las pérdidas de calor por radiación en diferentes regiones corporales se incrementan conforme aumenta la temperatura ambiente. Sin embargo, cuando las condiciones de hipertermia alcanzan su punto máximo, este mecanismo comienza a ser menos eficiente debido a la disminución del gradiente térmico entre la temperatura ambiental y la temperatura de la superficie de pelo. Lo anterior implica el mayor uso de mecanismos evaporativos (sudoración y respiración) para disipar calor. En este sentido, Santos et al. (2006) demostraron en diferentes genotipos de razas de pelo que, al disminuir el gradiente de temperatura (GT) se incrementa la frecuencia respiratoria. Esta respuesta se volvió más evidente en animales Santa Inés x Dorper (GT: 2.88 °C y FR: 115 rpm) y menos marcada en la raza Morada Nova (GT: 3.89 °C y FR: 56 rpm).

Los ovinos de pelo emplean la sudoración y la frecuencia respiratoria como principales mecanismos de evaporación. Correa et al. (2012) reportaron que la evaporación cutánea es el principal mecanismo para mantener la normotermia en corderos Santa Inés bajo condiciones de estrés calórico al aumentar esta 35% con

respecto a condiciones termoneutrales. Mientras tanto, la frecuencia respiratoria solo incrementó en 20.7 %. Contrario a lo anterior, Titto et al. (2016) no encontraron aumento en la tasa de sudoración al incrementar la temperatura ambiente, tanto en ovejas Santa Inés y Morada Nova como en ovejas Texel y Suffolk; sin embargo, en las horas más calurosas, la frecuencia respiratoria se convirtió en el mecanismo principal para mantener la normotermia.

El aumento de la frecuencia respiratoria es el principal mecanismo de termorregulación, independientemente de la raza. Los ovinos en condiciones de estrés por calor pueden disipar hasta 60 % de la carga de calor corporal por el tracto respiratorio (Marai et al., 2007; Gupta et al., 2013). De acuerdo con Silanikove (2000), el grado de estrés calórico en relación al número de respiraciones por minuto (rpm), puede ser clasificado como estrés calórico bajo (40 – 60 rpm), medio (60 – 80), alto (80 – 120) y severo (> 200 rpm). Sin embargo, otros autores (Santos et al., 2006) consideran que el incremento de la frecuencia respiratoria es un mecanismo para la disipación de calor, y no un indicador de estrés térmico. A pesar de la ventaja que ofrece la evaporación respiratoria como mecanismo de termorregulación, también puede generar desventajas como el excesivo gasto energético y producción de calor metabólico al aumentar el número de contracciones de los músculos que interviene en el proceso de la respiración; además, existe el riesgo de que se presenten problemas como alcalosis respiratoria y deshidratación (Macías-Cruz et al., 2016).

La temperatura rectal es considerada como un excelente indicador de la carga de calor, así como de la eficacia de los mecanismos termorregulatorios en un organismo (Gupta et al., 2013). La temperatura rectal en ovinos varía entre 38.3 y 39.9 °C en condiciones termoneutrales (Al-Dawood et al., 2017). Un aumento en la temperatura rectal es indicativo de fallas en los demás mecanismos termorregulatorios (Rashamol et al., 2018). De acuerdo con Kadzere et al. (2002), el aumento de 1 °C es suficiente para afectar el rendimiento productivo en los ovinos que, en caso de sobrepasar los 42 °C, pueden presentarse daño y muerte celular (Al-Dawood et al., 2017; Vicente-Pérez, en prensa).

2.4. Termografía infrarroja en la evaluación de fisiología animal

Debido al manejo al que son sometidos los ovinos y la técnica invasiva para registrar las temperaturas rectales, se produce un aumento en la producción de calor a causa del estrés y los resultados pueden ser sobrestimados (Vicente Pérez et al., 2016). Además, la técnica de la temperatura rectal, es considerada traumática y una vía por la cual pueden transmitirse enfermedades entre animales (Sousa et al., 2011). En este sentido, la termografía infrarroja (TI) es una técnica moderna, más precisa y no invasiva para medir la temperatura corporal y se basa en la detección de radiación térmica emitida por la superficie corporal debido a los cambios en el flujo sanguíneo relacionado con las condiciones ambientales estresantes (Knížková et al., 2007; Liz et al., 2013; Kahwage et al., 2017).

La TI indica las diferentes cantidades de radiación infrarroja que emite cada región anatómica del animal (Knížková et al., 2007). Por lo tanto, la temperatura de las regiones específicas como ojo, cuello, hocico, costilla, grupa, flanco, vientre, muslo, espinilla, ubre y pie, obtenidos con el uso de TI se han utilizado para predecir los parámetros fisiológicos (McManus et al., 2016b). Paim et al. (2012) observaron que las temperaturas obtenidas por medio de TI en hocico, cuello y grupa fueron satisfactorios puntos preferenciales para medir la situación térmica en ovinos. De igual manera, se ha demostrado que la TI proporciona mediciones que están altamente correlacionadas con la temperatura rectal (Vicente-Pérez et al., 2016b) y con la tasa de respiración en corderos (Cardoso et al., 2015), ambas importantes para determinar la tolerancia al calor en ovejas (Castanheira et al., 2010).

La TI es una medida en tiempo real, es decir, mientras se observa la radiación de la superficie de los animales en la pantalla, se puede observar cualquier cambio que sufra en ese momento (McManus et al., 2016b). Las mediciones no solo dependen de la temperatura de la superficie de un animal, sino que también de la emisión y conductividad de calor que ejercen otros objetos (Knížková et al., 2007). Por lo tanto, la TI tiene ciertas limitaciones, y se debe tener cuidado al tomar imágenes bajo la luz del sol o en condiciones de alta humedad (McManus et al., 2016b).

2.5. Componentes sanguíneos asociados al estrés

2.5.1. Hormonas

La regulación neuroendocrina es una de las principales respuestas de adaptación que emplean los ovinos de pelo en condiciones de estrés calórico (Binsiya et al., 2017). Dependiendo de la severidad y duración del estrés, las respuestas endocrinas pueden ser del tipo agudo o crónico (Silanikove et al., 2000). Las primeras tienen como objetivo la rápida liberación de energía para la activación de las respuestas fisiológicas (Alsaf et al., 2018); por otra parte, las respuestas de tipo crónicas tienen como finalidad disminuir la producción de calor metabólico (Sejian et al., 2010).

Durante el estrés calórico de tipo agudo, la activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal tiene un papel importante en la liberación de cortisol, el cual estimula la glucogenólisis y la gluconeogénesis hepática, procesos que garantizan una rápida fuente de glucosa para la activación de mecanismos termorregulatorios (Starling et al., 2005; Alsaf et al., 2018). Durante los episodios de estrés calórico, los niveles de cortisol incrementan conforme aumenta la temperatura ambiental (Cwynar et al., 2014). Wojtas et al. (2014) reportan un incremento en el nivel de cortisol del 26.2 % en corderos Merino sometidos a estrés de tipo agudo. Sin embargo, los niveles de cortisol disminuyen debido a la adaptación de los ovinos al estrés calórico agudo cuando son expuestos a estrés calórico crónico (Silanikove, 2000). En este sentido, Indu et al. (2014), al someter ovejas Malpura a estrés calórico durante 35 días, obtuvieron valores más altos de cortisol (40 a 45 nmol/L) entre los días 14 y 21 del experimento; posteriormente, la concentración de cortisol disminuyó en aproximadamente 31 % en el último día del experimento (31 nmol/L).

En las respuestas de tipo crónico, la disminución de las hormonas tiroideas tiroxina (T4) y triiodotironina (T3) juegan un papel importante en la adaptación al disminuir el calor metabólico (Silanikove, 2000; Sejian et al., 2017b). Bajo condiciones de estrés calórico, la disminución de los valores normales de T3 y T4 se asocia a dos respuestas hipotalámicas, primero a la inhibición de neuronas glutamatérgicas del núcleo dorsomedial (ocasionando la disminución del consumo voluntario) y segundo a la secreción del factor inhibidor de tirosina (Zhao et al., 2017). Sin embargo, esta respuesta

dependerá del genotipo, afectando en mayor medida a las razas de lana en comparación con razas de pelo (Leite et al., 2018). En este sentido, Rathwa et al. (2017) reportaron en ovejas de lana una mayor disminución en las concentraciones de T3 y T4 entre verano e invierno (21.55 y 42.74%, respectivamente). Contrariamente, dentro de las razas de pelo, factores como el estado fisiológico (Macías et al., 2018a), color del pelaje (Leite et al., 2018) y la calidad de alimento (Costa et al., 2015) pueden influir en una menor o mayor disminución de estas hormonas.

De manera conjunta, la disminución del consumo de alimento y el incremento de los gastos de mantenimiento (Rhoads et al., 2016) provocan que ovinos bajo estrés calórico entren en un estado de balance energético negativo (Sejian et al., 2010). Bajo esta condición metabólica, cobra importancia el aumento en la producción de insulina por kilogramo de alimento consumido (Baumgard y Rhoads, 2013). Los mecanismos que generan una mayor producción de insulina no han sido elucidados en su totalidad; sin embargo, se ha demostrado que la hiperprolactemia (Sivakumar et al., 2010) y endotoxemia, que generan el estrés calórico en rumiantes, estimulan la proliferación y secreción de las células β del páncreas, incrementando los niveles de insulina (Rhoads et al., 2012). El objetivo del incremento de insulina consiste en disminuir la movilización de tejido adiposo y el uso de los lípidos como fuente de energía, garantizando que el principal sustrato energético sea la glucosa (Mahjoubi et al., 2015; Aleena et al., 2016).

En la actualidad, información sobre el efecto del estrés calórico en la concentración de insulina en ovinos de pelo es escasa, limitándose a razas de lana. En dichos estudios se ha demostrado que el incremento en la producción de insulina se acompaña de una menor concentración de ácidos grasos no esterificados (NEFAS, por sus siglas en inglés) y niveles normales de glucosa (Mahjoubi et al.; 2015). Por otra parte, estudios realizados en razas de pelo sugieren una respuesta similar debido a que los ovinos mantienen su condición corporal a pesar de episodios severos de estrés calórico (Macías-Cruz et al., 2018).

2.5.2. Metabolitos

Bajo estrés calórico, la disminución en el consumo de alimento, las adaptaciones en el metabolismo postabsorción y el incremento en los gastos de mantenimiento reducen

la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento (Belhadj et al., 2016). En consecuencia, la tasa de crecimiento y la ganancia de peso en ovinos en engorda son afectadas negativamente (Mahjoubi et al., 2015). El principal metabolito que emplean los mecanismos fisiológicos para la termorregulación es la glucosa, por lo tanto, todas las rutas metabólicas mantienen a un nivel alto su concentración (50 a 80 mg/dL). El cambio en la concentración de glucosa depende de la severidad del estrés calórico al que los ovinos se expongan. Sejian et al. (2013) reportaron un aumento de 6.1 % en los niveles de glucosa en ovejas Malpura bajo estrés calórico agudo (42 °C) en comparación con ovejas de la misma raza en condiciones termoneutrales (23 °C). Por otra parte, Macías-Cruz et al. (2015) reportaron una disminución de los niveles de glucosa del 38 % bajo condiciones de estrés calórico crónico (39.3 °C) en corderos Dorper x Pelibuey, lo que otros autores también han atribuido al incremento de la demanda de glucosa para la activación de los mecanismos fisiológicos termorregulatorios (Indu y Pareek, 2015).

De acuerdo con resultados de diferentes estudios, se ha sugerido que la mayor producción de insulina durante estrés calórico crónico es uno de los principales factores que altera el metabolismo de los lípidos al evitar la lipólisis y estimular la lipogénesis. En un estudio realizado por Majoubi et al. (2015), se reportó que el elevado nivel de insulina evitó la movilización del tejido adiposo, reflejándose en baja concentración de NEFAS. Por otra parte, Indu et al. (2014) y Macías-Cruz et al. (2018) atribuyeron la elevada concentración sanguínea de triglicéridos y colesterol a un posible aumento de insulina como un mecanismo para compensar la disminución de glucosa. Cabe mencionar que los resultados de ambos estudios se reportaron bajo condiciones severas de estrés calórico, sin embargo, estos resultados no se presentaron cuando el estrés calórico fue de tipo moderado (85.5 a 94.89 vs 70.65 a 73.25 unidades de ITH, respectivamente; Macías-Cruz et al., 2018), lo cual sugiere que la intensidad del estrés calórico influye en las concentraciones de colesterol y triglicéridos (Mahjoubi et al., 2014).

La duración del estrés por calor influye de manera diferente en el metabolismo de las proteínas (Gonzalez - Esquerra y Leeson, 2005). El estrés calórico agudo aumenta el catabolismo de las proteínas (principalmente a causa del cortisol y catecolaminas), dando como resultado niveles bajos de proteína total y altos de urea en el plasma sanguíneo (Belhadj et al., 2015). Sin embargo, durante la exposición crónica al estrés calórico, puede

haber un menor catabolismo debido que disminuye la concentración de cortisol y catecolaminas, así como a un posible aumento del anabolismo proteico (Baumgard y Rhoads, 2012).

Macías-Cruz et al. (2016) reportaron en ovinos Dorper x Pelibuey un aumento del 11 % de proteína total y 76 % de urea por las mañanas de la época de verano a la de primavera, y de 5 y 27%, respectivamente, durante la tarde en el mismo experimento. Sin embargo, se deben tener en consideración posibles alteraciones en las funciones ruminales (Sejian et al., 2017b) y renales (Macías-Cruz et al., 2018b) que afectan la concentración de la urea en sangre.

2.5.3. Electrolitos

El sodio (Na^+) es el electrolito más abundante en el líquido extracelular y su homeostasia es controlada por la aldosterona; además desempeña un papel importante en la regulación de los fluidos corporales (Ganong, 2010). El potasio (K^+) se encuentra en su mayoría en el líquido intracelular, es fundamental para mantener el equilibrio ácido-básico y para permitir la transición de impulsos nerviosos a las fibras musculares (McCutcheon, 2007). De igual manera, el sodio (Na^+), potasio (K^+) y cloro (Cl^-) participan en la regularización osmótica de los líquidos como en el caso del equilibrio ácido-base en la sangre (Samanc et al., 2011). Sin embargo, las concentraciones pueden afectarse por diversos factores medio ambientales, mecanismos adaptativos termorregulatorios y características fenotípicas de los animales (Fadare et al., 2012).

La disminución del volumen corporal total a causa de los mecanismos evaporativos para el mantenimiento de la normotermia, activa mecanismos para mantener un equilibrio hídrico y electrolítico (Silanokove, 2000; Macías-Cruz et al., 2016). Las alteraciones por pérdida de agua estimulan receptores para la liberación de la vasopresina (hormona antidiurética, ADH) y aldosterona para disminuir las pérdidas de agua en las heces y orina, así como la reabsorción de Na^+ , K^+ y Cl^- , evitando la deshidratación (Piccione et al., 2012) y alcalosis a causa del aumento de la frecuencia respiratoria (Korde et al., 2007).

Actualmente no existen registros sobre las concentraciones de ADH y aldosterona en ovinos de pelo estresados por calor; no obstante, algunos autores han reportado cambios en las concentraciones de electrolitos. Macías-Cruz et al. (2016) reportaron un incremento en la concentración de K^+ y un descenso de Cl^- , sin afectar la concentración de Na^+ en ovinos estresados por calor en verano, afirmando que los ovinos no presentaron deshidratación debido a la activación de la heterotermia adaptativa. Dicho mecanismo consiste en la activación de mecanismos evaporativos hasta que los mecanismos termorregulatorios no evaporativos son insuficientes para disipar la carga de calor.

2.5.4. Perfil hematológico

Los componentes hematológicos de mayor relevancia son leucocitos (Leu), eritrocitos (GR), hemoglobina (Hb), hematocrito (HTC), volumen corpuscular medio (VCM), hemoglobina corpuscular media (HCM) y concentración corpuscular media de hemoglobina (CCMH). El perfil hematológico de los animales es uno de los indicadores importantes de la respuesta fisiológica al estrés calórico es muy sensible a cambios de la temperatura ambiental (Bhan et al., 2012; Okoruwa, 2014). En condiciones de hipertermia, la reducción del flujo sanguíneo a causa de la redistribución a la periferia y hacia los músculos relacionados con la respiración provoca cambios significativos en los niveles de los componentes hematológicos (Vicente-Perez et al., 2018a). El aumento de leucocitos es debido a la destrucción de eritrocitos en animales estresados por calor, por la destrucción de su membrana por el aumento de radicales libres, de igual manera, es un hecho natural, ya que puede ser una reacción orgánica a un aumento de la frecuencia cardíaca y presión arterial, así como la contracción del bazo después de la liberación de cortisona y adrenalina (Correa et al., 2012)

El incremento en el consumo de agua modifica las concentraciones en el volumen corpuscular medio (VCM), hemoglobina corpuscular media (HCM; Al-Haidary, 2012). De acuerdo con Vicente-Pérez et al. (2018a), corderos expuestos a estrés calórico sin sombra tuvieron un incremento del 2 % en Hb, así como una disminución en la concentración de VCM y HCM (5 y 4 %, respectivamente), debido a una hemodilución

por el aumento en el consumo de agua de los corderos como mecanismo para perder calor por medio de evaporación, así como una mayor demanda de oxígeno para la activación de los mecanismos fisiológicos termorregulatorios (Al-Dawood et al., 2017). Esto concuerda con otros autores que también indican el aumento en las concentraciones de Hb y HCT como valores de adaptación al estrés calórico (Correa et al, 2012; McManus et al., 2016). Sin embargo, un incremento de la presión de oxígeno en el torrente sanguíneo por el aumento de la frecuencia respiratoria disminuye la eritropoyesis, causando valores bajos de hematocrito (HCT) y hemoglobina (Hb; Gupta et al., 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características de la zona experimental

El experimento se llevó a cabo en la posta experimental ovina del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, situado en el valle de Mexicali, Baja California, México (32° 24' latitud norte y 115° 22' longitud oeste), con una elevación de 8.23 msnm. El clima se caracteriza por ser desértico y cálido (Bwh), con temperaturas extremas en verano (≥ 48 °C) e invierno (≤ 0 °C), así como escasa precipitación pluvial (85 mm / año en promedio) que predomina en diciembre (Vidal, 2019).

3.2. Animales y manejo previo al experimento

Todos los procedimientos fueron llevados a cabo bajo lo estipulado en la Norma Oficial Mexicana para el transporte y manejo humanitario para animales domésticos (NOM-051-ZOO-1995), así como la Norma relacionada con la producción, uso y cuidado de los animales de laboratorio (NOM-062-ZOO-1999).

Se utilizaron 20 corderos machos (10 por época del año) de la cruce Dorper x Katahdin de 4 meses de edad. En verano, el peso vivo inicial fue de 33.9 ± 7.0 kg y en invierno 35.3 ± 6.4 kg; los dos grupos de animales pertenecían al rebaño experimental de la misma posta ovina del ICA-UABC. Todos los corderos fueron identificados con un arete de plástico y se les aplicó manejo sanitario que consistió en la administración subcutánea de 0.2 mg/kg de ivermectina al 1% (Iverfull®, Aranda, Qro, México), así como de 250 000 UI de vitamina A, 37 500 UI de vitamina D y 25 mg de vitamina E (Vigantol ADE fuerte®, Bayer, México) vía intramuscular. Los animales se encontraban en un corral general y luego se confinaron en corraletas individuales para realizar el experimento con dos semanas de adaptación a la dieta y corraletas individuales.

3.3. Alojamiento y procedimiento experimental

Los corderos se alojaron en corraletas individuales de 1.5 m² (1 X 1.5 m) construidas con paneles recubiertos de malla de ciclónica, y contaban con dos cubetas (4 L) que hacían las veces de comedero y bebedero, así como con suelo de tierra y sombra de lámina a una altura de 2.50 m. La disposición de las corraletas fue lineal y la sombra fue permanente con orientación norte-sur durante las dos épocas del año. Así, los tratamientos consistieron en las condiciones ambientales que prevalecieron en la época de invierno (6 de marzo al 4 de abril del 2018) *versus* época de verano (29 de agosto al 27 de septiembre del 2017). Todos los días se ofreció alimento en dos horarios, 6:00 y 18:00 h, y se les supervisaba tres veces al día para verificar que no faltaran alimento y agua. El monitoreo clínico se brindó en esa misma frecuencia.

3.4. Formulación y composición química de la dieta

Los animales se alimentaron con una dieta integral para corderos en finalización que cumplía con los requerimientos de proteína cruda (16%) y energía metabolizable (2.8 Mcal/kg de materia seca) establecidos para corderos de engorda en etapa de finalización por el NRC (2007). El Cuadro 1 muestra el porcentaje de inclusión de los ingredientes y la composición química general.

Cuadro 1. Ingredientes de la dieta ofrecida a los corderos durante invierno y verano y su composición química.

Ingredientes	%
Paja de trigo	15.00
Heno de alfalfa	15.00
Trigo molido	57.00
Pasta de soya	11.00
Premezcla (minerales-vitaminas)	0.50
Piedra caliza	0.50
Fosforo dicálcico	0.50
Sal común	0.50
Total	100
Composición química	
Materia seca (%)	81.62
Energía metabolizable (kcal/kg de MS)	2.80
Proteína cruda (%)	16.00
Grasa (%)	3.17
Ceniza (%)	7.92
FDN (%)	51.87
FDA (%)	15.32
Hemicelulosa (%)	36.55
Celulosa (%)	6.28
Lignina (%)	9.04
EM: Energía metabolizable; PC: Proteína cruda; FDN: Fibra detergente neutra; FDA: Fibra detergente ácida	

3.5. Medición de variables de estudio

Las metodologías, equipos y manejo de animales empleado para registrar las variables de estudio fueron similares en ambas épocas. Por lo tanto, a continuación, se describe de manera general como se registraron cada una de las variables indistintamente de la época del año en que se realizaron los muestreos.

3.5.1. Variables climáticas

Las variables climáticas se obtuvieron de la estación meteorológica perteneciente al ICA-UABC (6162C Cabled Vantage Pro2, Davis Instruments, CA, USA) de donde se obtuvo la temperatura ambiente (T_a) mínima, máxima y promedio, así como la humedad relativa (HR) mínima, máxima y promedio. Los datos de las variables fueron registrados diariamente con intervalos de una hora. El Índice temperatura-humedad (ITH) fue calculado utilizando la fórmula propuesta por Hahn (1991): $ITH = 0.81 \times T_a + HR / 100 \times (T_e - 14.40) + 46.4$

3.5.2. Variables fisiológicas

Cada cuatro días y en tres diferentes horarios (6:00, 12:00 y 18:00 h), se manejaron los corderos para colectar frecuencia respiratoria (FR), temperatura rectal (TR) y temperatura de superficie de pelo de diferentes regiones anatómicas. La FR fue registrada contando el número de movimientos del abdomen por 30 s, con ayuda de un contador manual y un cronómetro, considerando que el animal se encontraba en reposo; el resultado se multiplicó por dos para obtener el número de respiraciones por minuto (rpm). Posteriormente, la TR se determinó utilizando un termómetro digital (DeltaTrack Pleasanton, CA, USA), que se introdujo por el esfínter anal y se mantuvo pegado a la pared del recto durante un minuto. Finalmente, para registrar la temperatura de superficie de pelo, se utilizó una cámara termográfica (Fluke Ti10, Everett, WA, USA), tomándose una foto del flanco derecho de los borregos a una distancia aproximada de 1.5 m para capturar una imagen que incluyera la cabeza, ojo, hocico, oreja, costilla, cuello, lomo, flanco derecho, anca y pierna. Adicionalmente, se tomó una fotografía de los testículos a una distancia de 0.5 m para registrar la temperatura general y de diferentes regiones testiculares (polo superior, parte media y polo inferior). Todas las fotos se descargaron a una computadora personal para visualizarlas con el software de la misma cámara (Smart View® ver. 3.9) y obtener la temperatura de superficie de pelo de las diferentes regiones anatómicas ya mencionadas.

3.5.3. Muestras sanguíneas

Los mismos días de muestreos de las variables fisiológicas, se colectaron muestras sanguíneas a las 6:00 h antes de ofrecer alimento de la mañana. Las muestras se tomaron por venopunción de la vena yugular en dos tubos vacutainer, uno de 10 mL con activador de coagulación y otro de 4 mL con anticoagulante (EDTA-K₂). Las muestras colectadas en los tubos de 10 mL se centrifugaron a 3500 revoluciones por minuto durante 15 min a 10 °C para almacenar el suero en viales de 2 mL a -20 °C hasta su posterior utilización en la determinación de metabolitos, electrolitos y hormonas tiroideas. Para el análisis de metabolitos (glucosa, colesterol, urea, triglicéridos, y proteína total) se descongelaron las muestras de suero y se analizaron con un equipo de química sanguínea (EasyVet; KrontronLab, Morelia, Mich., México), mientras que para los electrolitos sodio, cloro y potasio se analizaron con un equipo automatizado (Electrolyte Analyzer LW E60A; Landwind Medical, Shenzhen, China). Para la determinación de las concentraciones de las hormonas triiodotironina (T3) y tiroxina (T4) se utilizó la técnica de ELISA con un analizador automatizado (Thunderbolt, Gold Estándar Diagnostics, CA, USA); la técnica de ELISA se desarrolló empleando kits comerciales (Monobind Inc., Lake Forest, CA, USA). A partir de las muestras colectadas en el tubo con anticoagulante se determinó el perfil hematológico, con un equipo automatizado de hematología (MINDRAY, BC-2800 Vet, Guangdong, China) el cual consideró los siguientes componentes hematológicos: leucocitos, globulos rojos, hemoglobina, hematocrito, volumen corpuscular medio (VCM), hemoglobina corpuscular media (HCM), concentración corpuscular media de hemoglobina (CCMH), ancho de distribución de eritrocitos (ADE), plaquetas, ancho de distribución del tamaño plaquetario (ADTP).

3.6. Análisis estadístico

Las variables fisiológicas fueron sometidas a un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar con mediciones repetidas en el tiempo, empleando como covariable el peso inicial y utilizando el procedimiento GLM del SAS (2004). El modelo incluyó los efectos fijos de tratamiento (invierno vs verano), hora del día e interacción tratamiento x hora. Se realizaron polinomios ortogonales para determinar la tendencia en

la TR y FR por la hora del día dentro de cada época del año. Las concentraciones séricas de hormonas tiroideas, metabolitos, electrolitos y componentes hematológicos fueron sometidos a un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar con el procedimiento GLM de SAS, considerando únicamente el efecto de tratamiento. Las medias se compararon utilizando la opción LSMEANS/PDIFF, considerando significancia cuando $P \leq 0.05$ y tendencia cuando $P > 0.05$ y ≤ 0.10 .

IV. RESULTADOS

4.1. Variables climáticas

Los resultados de las variables climáticas se presentan en el Cuadro 2. En verano, los promedios de Ta e ITH aumentaron 47.4 y 20.6 %, respectivamente, con respecto a invierno. La Ta máxima fue de 43.3 °C y mínima de 12.9 °C en verano, mientras que en invierno fueron de 33.7 y 5.8 °C, respectivamente.

Cuadro 2. Promedios de las variables climáticas en invierno y verano durante el estudio.

	Temperatura, °C	HR, %	ITH, unidades
Verano			
Máxima	35.3 ± 4.2	83.0 ± 18.5	93.2 ± 8.6
Mínima	21.0 ± 4.4	30.1 ± 16.1	65.2 ± 6.0
Promedio	28.3 ± 4.0	55.2 ± 18.1	77.2 ± 5.4
Invierno			
Máxima	27.0 ± 3.6	68.5 ± 15.3	77.1 ± 6.3
Mínima	11.0 ± 3.1	20.3 ± 8.5	54.7 ± 3.4
Promedio	19.2 ± 2.6	41.7 ± 11.0	64.0 ± 3.0

ITH: Índice de temperatura-humedad, HR: Humedad relativa; RS: Radiación solar.

La variación circadiana de Ta e ITH se presentan en las Figura 1. La Ta más alta se registró a las 15:00 h (35.1 °C) y el ITH máximo se registró a las 14:00 h (81.6 unidades) durante el verano. Durante el invierno, el promedio más alto de Ta e ITH fueron 26.91 °C y 70.8 unidades, respectivamente, los cuales se registraron a las 15:00 h. Cabe destacar que en ambas épocas, la Ta y consecuentemente el ITH disminuyeron en horas de la madrugada.

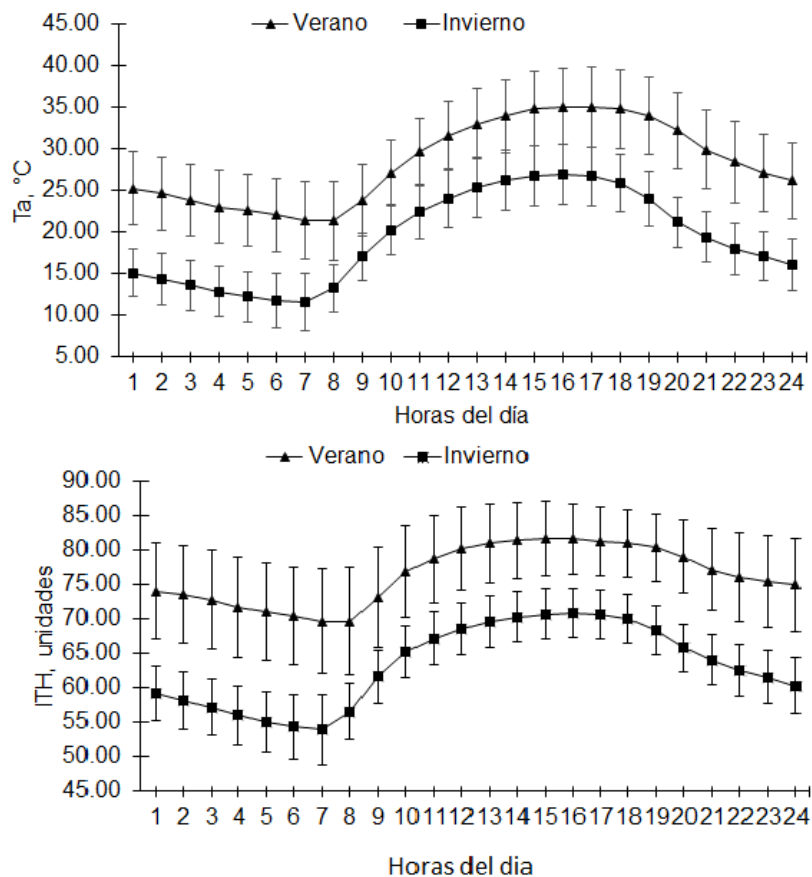


Figura 1. Variación circadiana de la temperatura ambiental (Ta) e índice de temperatura-humedad (ITH) durante el periodo experimental en verano e invierno.

4.2. Variables fisiológicas

Los resultados de las variables fisiológicas indican que la interacción tratamiento x hora del día afectó ($P < 0.05$) todas las variables fisiológicas. La TR y la FR fueron mayores en verano que invierno en todos los horarios, y las diferencias más grandes para TR se registró a las 12:00 h y para FR a las 18:00 h (127.78 vs 95.24 rpm) (Figura 1). En ambas épocas, la TR más baja se presentó a las 6:00 h (39.13 °C) y la más alta a las 18:00 h (39.39 °C).

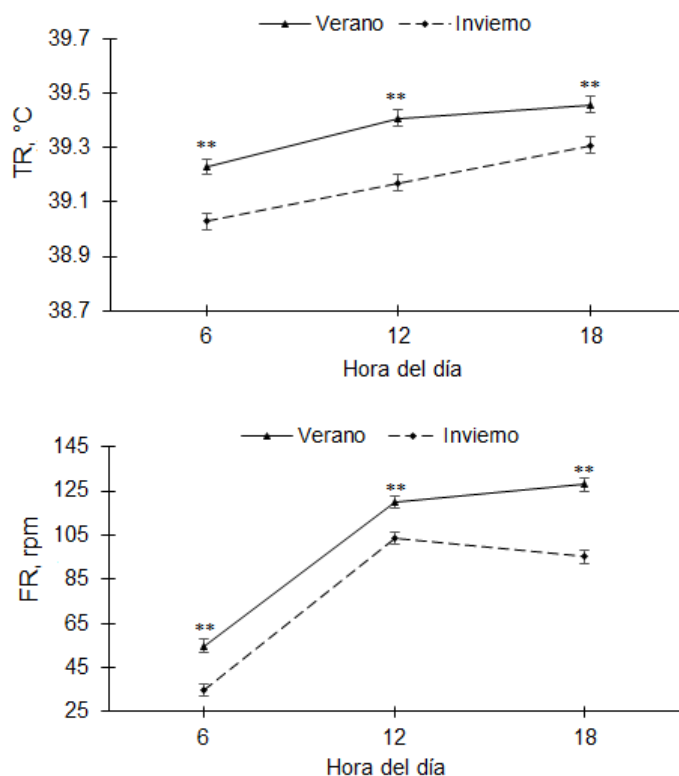


Figura 2. Variación circadiana de la temperatura rectal (TR) y frecuencia respiratoria (FR) de corderos engordados en etapa de finalización durante verano e invierno (** $P < 0.001$).

Las temperaturas de superficie de pelo de las diferentes regiones anatómicas se muestran en las Figuras 3 y 4. La temperatura de superficie de pelo de la cabeza, hocico, ojo, oreja, paleta, lomo, costilla, cuello, flanco derecho, pierna y anca fueron mayores ($P < 0.001$) en verano que en invierno a las 6:00, 12:00 y 18:00 h. En el caso de las temperaturas de superficie testicular (Figura 5), se observó que la temperatura del testículo en la parte superior y media fue mayor ($P < 0.001$) en verano que en invierno solamente a las 6:00 y 12:00, sin diferencias ($P > 0.05$) entre épocas a las 18:00 h. Sin embargo, la temperatura testicular en la parte inferior y en general en toda la gónada fue mayor en verano que en invierno durante todos los horarios de muestreo. El patrón diurno de todas las temperaturas de superficie corporal tanto en verano como invierno mostró ser más bajo a las 6:00 y aumentar a las 12:00 h para después ligeramente decrecer a las 18:00 h.

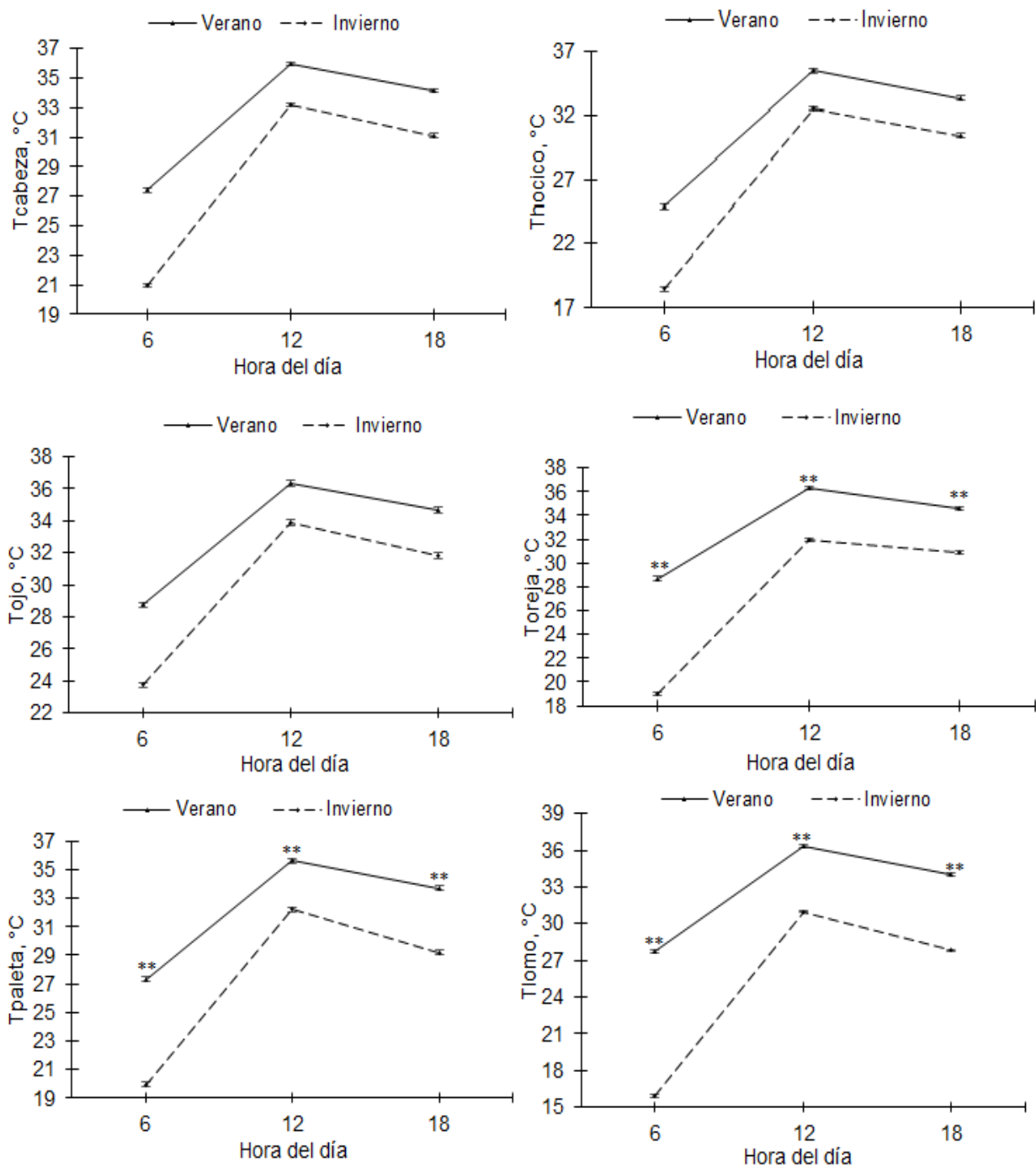


Figura 3. Temperatura de la superficie de pelo de cabeza (Tcabeza), hocico (Thocico), ojo (Tojo), oreja (Toreja), paleta (Tpaleta) y lomo (Tlomo) de corderos engordados en etapa de finalización durante verano e invierno (** P < 0.001).

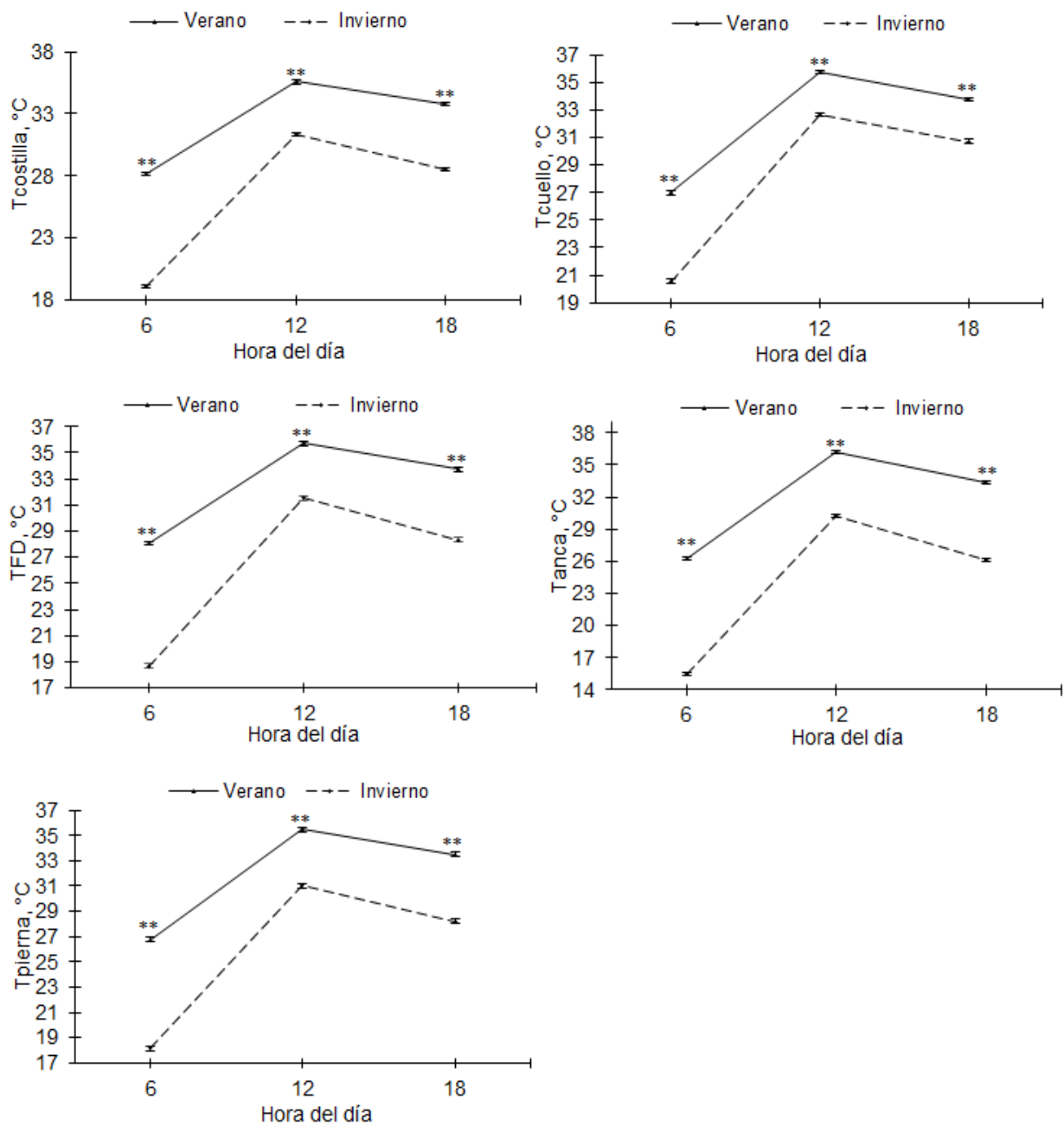


Figura 4. Temperaturas de superficie de pelo de costilla (Tcostilla), cuello (Tcuello), flanco derecho (TFD), pierna (Tpierna) y anca (Tanca) de corderos engordados en etapa finalización durante verano e invierno (** P<0.001).

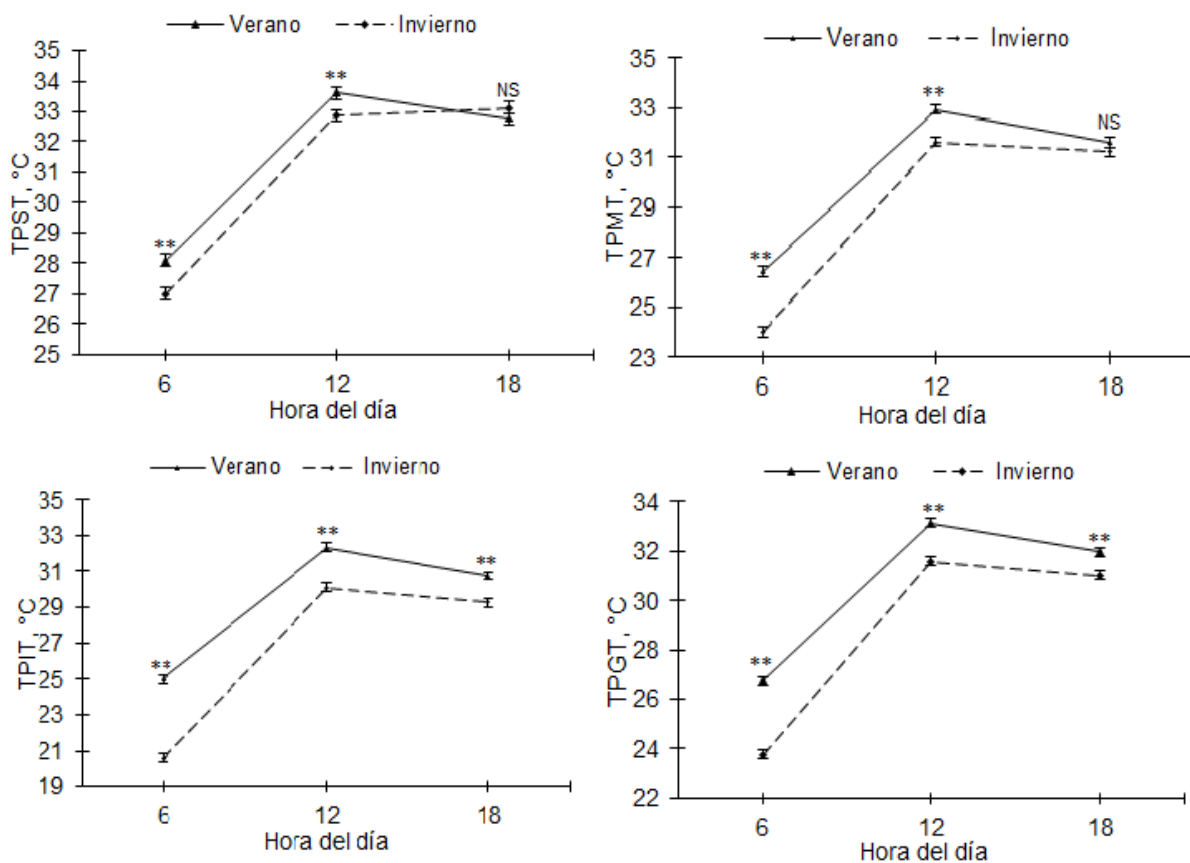


Figura 5. Temperaturas superficiales del polo superior del testículo (TPST), parte media del testículo (TPMT), polo inferior del testículo (TPIT) y perímetro general del testículo (TPGT) de corderos engordados en etapa de finalización durante verano e invierno (** $P < 0.001$ y ^{NS} $P > 0.05$).

4.4. Componentes sanguíneos

Los resultados de concentraciones de componentes sanguíneos por efecto de época del año se muestran en el Cuadro 4. Las concentraciones de T3 y T4 en los corderos disminuyeron ($P < 0.001$) 13.5 y 25.0 %, respectivamente, en verano con relación a invierno. Además, se observó mayor ($P < 0.001$) concentración sérica de colesterol, glucosa, proteína total y urea en los corderos durante la época de invierno que en verano; sin embargo, no se presentaron diferencias ($P > 0.05$) en la concentración de triglicéridos por efecto de época del año. En el caso de los niveles séricos de electrolitos en los corderos, las concentraciones de sodio y cloro fueron más altas en verano ($P < 0.001$) que en invierno, mientras que las concentraciones de potasio mostraron un efecto contrario ($P < 0.001$) entre épocas.

Cuadro 3. Efecto de época del año en el comportamiento productivo, hormonas tiroideas, metabolitos sanguíneos y electrolitos de corderos de engorda por época del año.

Variables	Tratamiento		EEM	Valor de P
	Verano	Invierno		
Hormonas tiroideas				
Triiodotironina , ug/dL	1.38	1.60	0.04	<0.001
Tiroxina , ug/dL	5.39	7.19	0.10	<0.001
Metabolitos sanguíneos				
Glucosa, mg/dL	73.59	100.5	1.79	< 0.001
Colesterol, mg/dL	31.35	48.64	0.95	< 0.001
Triglicéridos, mg/dL	21.19	19.60	1.16	0.351
Proteína total, mg/dL	6.42	6.75	0.05	< 0.001
Urea, mg/dL	42.46	47.32	0.58	< 0.001
Electrolitos				
Potasio, mmol/L	4.03	6.57	0.16	<0.001
Sodio , mmol/L	142.94	139.72	0.38	<0.001
Cloro, mmol/L	113.74	108.69	0.50	<0.001

EEM: Error estándar de la media

4.5. Perfil hematológico

Los resultados de perfil hematológico por efecto de época del año se muestran en el Cuadro 5. Mientras que el conteo leucocitario fue mayor ($P < 0.001$) en verano, el conteo de glóbulos rojos y plaquetas fue mayor ($P < 0.001$) en invierno comparado con su contraparte. Los corderos en verano también tuvieron menor ($P \leq 0.02$) concentración de hemoglobina, hematocrito, CHCM, y ADTP pero mayor VCM ($P = 0.014$) que en invierno. El HCM tendió ($P = 0.07$) a incrementar en verano comparado con invierno, mientras que ADE ($P > 0.05$) y VMP ($P = 0.19$) no fueron afectados por época.

Cuadro 4. Efecto de época del año en componentes hematológicos de los corderos de engorda.

Variables	Tratamiento		EEM	Valor de P
	Verano	Invierno		
Leucocitos, X 10 ⁹ /L	7.62	6.56	0.20	0.0002
Globulos rojos, X 10 ⁹ /L	10.2	11.8	0.17	< 0.001
Hemoglobina, g/dL	11.0	12.6	0.16	< 0.001
Hematocrito, %	22.6	27.3	1.44	0.0223
VCM, Pg	22.7	21.7	0.30	0.0147
HCM, Pg	11.0	10.6	0.15	0.0775
CHCM, g/dL	48.7	49.5	0.24	0.0216
ADE (%)	18.2	18.2	0.13	0.8957
Plaquetas, X 10 ⁹ /L	301.2	493.7	15.5	< 0.001
VMP, fL	3.39	3.45	0.03	0.1895
ADTP, fL	15.6	15.7	0.03	< 0.001

VCM: Volumen corpuscular medio, HCM: Hemoglobina corpuscular media, CCMH: Concentración corpuscular media de hemoglobina, ADE: ancho de distribución de eritrocitos, VMP: Volumen medio de plaquetas, ADTP: Ancho de distribución del tamaño plaquetario, EEM: Error estándar de la media.

V. DISCUSIÓN

5.1. Condiciones Climáticas

Los promedios de ITH fueron de 63.2 unidades en invierno y de 77 unidades en verano, lo que sugiere que, durante la época de verano, los corderos experimentaron episodios de estrés calórico durante la engorda, mientras que en invierno estuvieron en condiciones termoneutrales. Observando los valores climáticos diarios por hora en verano, es notorio que el ITH fue mayor a 75 unidades desde las 10:00 hasta las 22:00 h, mientras que de 14:00 a 20:00 h sobrepasó 80 unidades. De acuerdo con Marai et al. (2007) los ovinos experimentan estrés calórico moderado cuando el ITH presenta 82 a < 84 unidades, estrés calórico severo de ≥ 84 a < 86 unidades y muy severo cuando presenta ≥ 86 unidades. Por otra parte, Hahn et al. (1999) mencionan que los animales experimentan un estado de emergencia de estrés calórico cuando el ITH presenta de 75 a 78 unidades, y un estado de peligro con un ITH de 79 a 83 unidades. De acuerdo con esta clasificación para rumiantes en engorda, los ovinos del presente estudio estuvieron en estado de peligro por las tardes durante el verano. La temperatura ambiental registrada durante el día, sobrepasó de 30 °C de 12:00 a 19:00 h. Consecuentemente, este nivel de temperatura durante verano sugiere que se excedieron los límites de la zona confort para ovinos de pelo establecida en 30°C, de acuerdo a Neves et al. (2009). Sin embargo, durante la época de invierno, los ovinos no experimentaron ningún tipo de EC, ya que el promedio de ITH se encontró por debajo del inicio de la categoría “presencia de estrés calórico”, mientras que la temperatura e ITH máximos promedio (27 °C y 71 unidades) estuvieron dentro de la zona termoneutral. Por otro lado, la temperatura mínima promedio registrada (11 °C) no provocó ningún problema clínico que afectara el desempeño en corral de los corderos, posiblemente debido a una adaptación a estas relativamente bajas temperaturas (Lenis et al., 2015).

5.2. Variables fisiológicas

La temperatura rectal es uno de los mejores indicadores de estrés calórico en ovinos (Srikandakumar et al., 2003). De acuerdo a Marai et al. (2007), la TR de los corderos se mantuvo dentro de los rangos normales en invierno y verano (38.3 a 39.9 °C), sin embargo, el promedio de TR en verano fue 0.21 °C mayor que en invierno en

el presente estudio. Lo anterior coincide con lo reportado por Macías-Cruz et al. (2016) y Pantoja et al. (2017), quienes demostraron que ovinos Dorper cruzados y puros son capaces de mantener su temperatura rectal en un rango normal bajo condiciones de altas temperaturas. De igual manera, Srikandakumar et al. (2003) reportaron temperaturas rectales dentro del rango normal en ovinos Omani y Merino en condiciones de estrés calórico. La respuesta a las condiciones de EC en ovejas es la activación de mecanismos termorregulatorios para disipar la excesiva carga de calor corporal. Una de las primeras respuestas al EC es la redirección del flujo sanguíneo del núcleo a la periferia corporal por medio del incremento de la frecuencia cardíaca, que a su vez es estimulada por acción de las catecolaminas. Esto provoca el incremento de la temperatura de la piel y el pelo, así como pérdidas de calor por medio de conducción y convección mediante una diferencia en el gradiente de temperatura entre la piel y el ambiente (Macías-Cruz et al., 2016). Sin embargo, cuando estos mecanismos son incapaces de eliminar la carga de calor, los ovinos activan mecanismos evaporativos como son el aumento de la FR y la sudoración (Santos et al., 2006).

Durante el verano la FR no disminuyó como se observó en invierno a partir de las 12:00 h, registrando un aumento de 16% a las 18:00 h, indicando que la FR de los ovinos sobrepasó el rango normal establecido entre 20 a 34 rpm (Correa et al., 2012). Los resultados coinciden con lo obtenido por Macías-Cruz et al. (2016) en ovejas Dorper X Pelibuey donde la FR sobrepasó los índices normales en las horas más calurosas en el verano en comparación a las obtenidas en condiciones termoneutrales. Pantoja et al. (2017) reportaron variaciones menores en la FR de ovinos Dorper en verano, sugiriendo que los ovinos de pelo tienen una fuerte adaptación a las altas temperaturas y no son tan dependientes de un aumento de la FR para mantener su normotermia. Aunado a lo anterior, Fonseca et al. (2017) reportaron que ovinos en condiciones de EC perdieron 90% del calor corporal activando la FR, y solo el 10% por sudoración. La variación circadiana de la FR es una respuesta a la duración y al tipo de EC que experimentan los ovinos (Kalyan et al., 2013; Macías-Cruz et al., 2016). De igual manera, el aumento en FR es la principal respuesta adaptativa para la disipación del calor empleada por los ovinos de pelo cuando los mecanismos no evaporativos son ineficientes para mantener la termólisis (Cain et al., 2006; Marai et al., 2007; Gupta et al., 2013).

5.3. Termografía infrarroja

Las temperaturas de superficie del pelo también son consideradas como referencias fisiológicas para determinar el comportamiento de la temperatura en los animales (Knížková et al., 2007). En este estudio se registraron los valores más altos de las temperaturas a las 12:00 h en ambas épocas, siendo en verano más altas que en invierno; estas temperaturas fueron disminuyendo con el transcurso del día. Este resultado coincide con lo reportado por Macías-Cruz et al. (2016) al comparar temperaturas de regiones anatómicas de ovejas Dorper x Pelibuey desafiando época del año (primavera vs verano), donde las temperaturas más altas se registraron en verano a las 12:00 h. De igual manera, Kahwage et al. (2017) reportan temperaturas máximas de regiones anatómicas de ovinos Santa Inés y Morada Nova a las 13:00 h en climas tropicales durante los meses correspondientes a verano.

Las regiones anatómicas de los ovinos que más irradiaron calor durante el verano en el presente estudio fueron, en orden decreciente, ojo, lomo, oreja y anca. Vicente-Pérez et al. (2016b) reportaron resultados similares con respecto a la región del anca (37.7 °C) en ovejas Katahdin x Pelibuey estresadas por calor, mientras que Macías-Cruz et al. (2016) reportaron temperaturas más altas en esa misma región anatómica (41.7 °C) de ovejas Dorper x Pelibuey en verano. Esto puede estar asociado a diferencias en los gradientes de temperatura entre las temperaturas de la superficie de pelo y la temperatura ambiental. Santos et al. (2006) reportaron gradientes de temperatura altos en la mañana y bajos en la tarde entre las temperaturas de superficie de pelo y la temperatura ambiental utilizando cruza de ovinos Santa Inés x Dorper en un clima subtropical. Esto favoreció a la pérdida de calor por las mañanas dado que T_a fue menor en la mañana que en la tarde. Por otra parte, la redirección del flujo sanguíneo hacia la periferia provoca el aumento de la temperatura de la piel en diferentes partes del cuerpo para promover mayor pérdida de calor por radiación y convección (Cain et al., 2006) en las zonas de mayor irrigación sanguínea, como por ejemplo el ojo (Stewart et al., 2007) y la región perianal (Macías-Cruz et al., 2018c). Las demás regiones anatómicas como la cabeza, cuello, flanco derecho, paleta, costilla, hocico y pierna, también irradiaron más calor durante el verano, pero en menor magnitud que las anteriores; esto puede ser debido que en regiones como cuello, flanco derecho, paleta y pierna, el tamaño del pelo es mayor en

comparación con las demás regiones anatómicas, lo que no les permite irradiar calor como se experimenta en regiones con pelo más corto (Vicente-Pérez et al., 2016b).

Con respecto a la temperatura del escroto, en verano se registraron las temperaturas más elevadas, siendo las 12:00 h el pico más alto; luego disminuyó con el transcurso de las horas. Sin embargo, a las 18:00 h no hubo diferencia entre las temperaturas de los polos superiores y las partes medias de los testículos. Kahwahe et al. (2017) y Pantoja et al. (2017) reportaron temperaturas similares en los testículos de ovinos de pelo Morada Nova, Santa Inés y Dorper en verano e invierno en una zona tropical. En este estudio, en ambas épocas del año la temperatura registrada en los testículos se mantuvo por debajo de la TR (8.74 °C para verano y 10.36 °C para invierno), lo que permitió que los testículos se encontraran a temperatura óptima (4 a 6 °C por debajo de la TR para llevar a cabo sus funciones fisiológicas, aun cuando los ovinos se encontraban en condiciones de EC (Hafez y Hafez, et al., 2002; Kahwage et al., 2017). Esta respuesta es llevada a cabo por la acción de tres mecanismos termorregulatorios: 1) termorregulación a contracorriente del plexo pampiriforme, el cual realiza un intercambio térmico entre las arterias con sangre caliente y las venas con sangre fría; 2) relajación o contracción del músculo cremaster, y 3) activación de las glándulas sudoríparas situadas en la piel del escroto (Hafez y Hafez, 2002; Pantoja et al., 2017).

5.4. Hormonas tiroideas

La actividad de las hormonas tiroideas se considera crucial para mantener el rendimiento productivo en los animales domésticos; la concentración sanguínea de estas hormonas se considera un indicador del estado metabólico y nutricional de los animales (Todini, 2007). La temperatura ambiental y el consumo de alimento son factores importantes en la regulación de la actividad tiroidea (Indu et al., 2014). Los resultados de este estudio demostraron que en la época de verano hubo menor actividad de la glándula tiroidea, así como una menor des-yodación de T4; Esto coincide con lo reportado por Macías-Cruz et al. (2018a), quienes también encontraron una disminución de hormonas tiroideas en corderas Dorper x Pelibuey estresadas por calor. Nazifi et al. (2003) reportaron una disminución del 22.2 y 15% en la concentración de T3 y T4 respectivamente, en ovejas adultas iraníes al ser sometidas

a condiciones de EC. Por otra parte, Costa et al. (2015) demostraron que la calidad y disponibilidad de la fuente de alimento influyó en una menor o mayor disminución de hormonas tiroideas en ovejas Morada Nova bajo EC en condiciones húmedas y secas, debido a que en condiciones húmedas los ovinos encuentran alimento de mejor calidad y disposición. Esta respuesta es una adaptación endocrina para disminuir la producción de calor metabólico que puede estar relacionada con la disminución del consumo de materia seca bajo condiciones de EC (Sejian et al., 2017a). Cabe mencionar que los resultados obtenidos en este estudio sugieren que la disminución de hormonas tiroideas se debe al efecto directo del EC y no a una disminución en el consumo de alimento, ya que éste fue muy similar (invierno: 1.64 kg/día vs verano: 1.67 kg/día; $P > 0.05$). Por lo tanto, esta respuesta endocrina fue atribuida a la necesidad de reducir la tasa metabólica. Lo anterior pudo contribuir parcialmente al mantenimiento de la normotermia; sin embargo, influyó negativamente en la ganancia diaria de peso (invierno: 300 g vs verano: 230 g; $P < 0.01$) y eficiencia alimenticia (invierno: 186 g/kg vs verano: 138 g/kg; $P < 0.01$). No obstante, las concentraciones se mantuvieron dentro del rango de referencia de 0.63 a 1.50 ug/dL para T3 (Klein, 2014) y de 3.8 a 7.7 ug/dL para T4 en ambas épocas del año (Costa et al., 2015).

5.5 Metabolitos

El EC reduce el anabolismo y aumenta el catabolismo en diferente grado, según las características del animal y del tipo y duración del EC (Marai et al., 2007). La disminución en la concentración de glucosa en verano puede ser atribuida a la alta demanda de energía que es requerida por los diferentes músculos que intervienen en la respiración. La capacidad que tiene esta especie de mantener su normoglucemia en casos de hipertermia ha sido observada tanto en razas de lana (Sejian et al., 2010; Mahjoubi et al., 2014; 2015) como en razas de pelo (Costa et al., 2015; Macías-Cruz et al., 2016; 2018a), independientemente del grado de EC. Lo anterior se debe a que la glucosa es el principal nutriente para llevar a cabo la termorregulación (Aleena et al., 2016). Por lo tanto, las diferentes rutas metabólicas que se activan durante el EC (glucogenólisis, gluconeogénesis y ciclo de Cori) estarán a favor del satisfacer la demanda de este metabolito. No obstante, cuando las condiciones de EC se vuelven crónicas y se presenta una disminución de las reservas del glucógeno hepático y muscular, pueden emplearse otras fuentes de energía como los lípidos (Indu et al.,

2014; Macías-Cruz et al., 2018a). En este sentido, Macías-Cruz et al. (2018a) reportaron que ovejas expuestas durante un periodo largo de EC mostraron un incremento en las concentraciones de colesterol y triglicéridos cuando la concentración de glucosa comenzó a disminuir. Cabe mencionar que, a pesar de la diferencia observada en la concentración de este metabolito, en ambas épocas se mantuvo dentro o por encima del rango normal establecido entre 50 y 80 mg/dL (Carlos et al., 2015; Santo Da Cruz et al., 2017).

En este estudio se presentó una disminución de colesterol en verano, sin afectar la concentración de triglicéridos. La disminución de colesterol puede deberse a su utilización como fuente de energía ante la disminución de glucosa (Indu et al., 2014), o para evitar el uso excesivo de esta misma bajo condiciones de EC crónico (Macías-Cruz et al., 2018a). Asimismo, puede ser el resultado de las diferentes adaptaciones endocrinas, principalmente para la síntesis de cortisol (Klein, 2014), y como consecuencia de la disminución de hormonas tiroideas (Laguna et al., 2009). Por otra parte, al no presentarse diferencias entre época del año en la concentración de triglicéridos, indica que probablemente no hubo lipólisis para la liberación de ácidos grasos no esterificados como fuente de energía (Santo Da Cruz et al., 2017). Lo anterior coincide con lo reportado en corderos de lana (Mahjoubi et al., 2014; 2015) y vacas lecheras estresadas por calor (Baumgard y Rhoads, 2013; Rhoads et al., 2016), y es considerado como un mecanismo para evitar la producción de calor metabólico durante la β -oxidación. En la época de verano, la concentración de colesterol se mantuvo por debajo del rango normal establecido entre 46.82 y 70.55 mg/dl, al igual que la concentración de triglicéridos de 18.42 a 51.10 mg/d (Santo Da Cruz et al., 2017).

En este estudio, la concentración de proteína total disminuyó 5% en verano con respecto a invierno. De acuerdo con Sejian et al. (2010), existe una disminución de proteína total de 10.5% en suero de ovejas Malpura debido a condiciones de EC. La disminución de la concentración de proteínas pudo deberse al efecto catabólico del cortisol y las catecolaminas para activar la gluconeogénesis hepática y así cubrir la demanda de glucosa (Korede et al., 2007; Belhadj et al., 2015). Por otra parte, se ha observado que en condiciones de EC crónico disminuye la concentración de cortisol y catecolaminas, disminuyendo también el catabolismo de las proteínas y, posiblemente, aumente el anabolismo proteico (Baumgard y Rhoads, 2013). Sin

embargo, las concentraciones de proteína total se mantuvieron dentro del rango fisiológico normal de 6.0 a 7.9 mg/dL (Carlos et al., 2015).

La concentración de urea fue 10.2% menor en el verano que en invierno. Este resultado difiere con lo reportado por Macías-Cruz et al. (2016) en ovejas Dorper x Pelibuey y con el de Indu et al. (2014) en ovejas Malpura, quienes mencionan un incremento de urea por efecto del EC, atribuyendo sus resultados a un menor flujo sanguíneo hacia los riñones y al catabolismo del músculo esquelético, respectivamente. Contrario a lo anterior, nuestros resultados pueden indicar que, a pesar de las condiciones estresantes, los corderos no requirieron la movilización de tejido muscular como una fuente alterna de energía. No obstante, los niveles encontrados se mantuvieron dentro de los rangos de referencia para ovinos establecidos entre 28.3 a 52.7 mg/dl (Santo Da Cruz et al., 2017).

5.6. Electrolitos

Los electrolitos son elementos importantes que intervienen en el metabolismo celular, contracción muscular, transmisión nerviosa y reacciones enzimáticas (Piccione et al., 2012). El estrés calórico es principal factor que altera las concentraciones séricas de algunos electrolitos, principalmente Na^+ , Cl^- y K^+ . En este estudio se demostró que en la época de verano se incrementaron las concentraciones de Na^+ y Cl^- (7.3 y 4.6%, respectivamente), mientras que la concentración de K^+ disminuyó 38.6% con respecto al de invierno. Esto coincide parcialmente con lo obtenido por Piccione et al. (2012), quienes también reportaron un aumento en la concentración de Na^+ y Cl^- , sin verse afectado la concentración de K^+ en ovejas Belice por efecto del EC. Korde et al. (2007) observaron cambios similares a los presentes, pero en búfalos bajo condiciones de EC. Sin embargo, los resultados sobre electrolitos bajo EC no han sido consistentes, lo cual puede asociarse a factores inherentes al animal como raza (Alhidary et al., 2012), edad, estado fisiológico (Macías-Cruz et al., 2016; 2018b), consumo de agua (Sejian et al., 2017) y al grado de EC (Rashid et al., 2013). Cabe mencionar que las concentraciones de K^+ se mantuvieron fuera los niveles de referencia de 4.80 a 5.7 mmol/L en ambas épocas (Santo da Cruz et al., 2017). De acuerdo con Ochoa y Bouda (2007), el Na^+ se mantuvo dentro de sus niveles normalidad de 144 a 151 mm/L, mientras que el Cl^- estuvo ligeramente por

encima de sus niveles de referencia de 106.20 a 112.30 mmol/L (Santo Da Cruz et al., 2017) durante el verano.

Las alteraciones registradas pueden atribuirse a cambios en el equilibrio ácido-base, así como a la activación de mecanismos adaptativos de la función renal. El aumento de la evaporación respiratoria (aumento de la FR) ocasiona la pérdida excesiva de ácido carbónico (H_2CO_3) en forma de agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2), ocasionando deshidratación y alcalosis respiratoria, respectivamente (Chauhan et al., 2015). Como respuesta a lo anterior, se incrementa el consumo de agua y los riñones activan diferentes respuestas adaptativas que consisten en disminuir la pérdida de agua e incrementar la reabsorción de Na^+ y Cl^- (Piccione et al., 2012); esto pudo explicar el incremento de las concentraciones de dichos electrolitos en el presente estudio. Por otra parte, la disminución en la concentración de K^+ puede asociarse a su intercambio por hidrogeniones en el fluido tubular renal, mecanismo que también interviene en el restablecimiento del equilibrio ácido-base (Kardone et al., 2007).

5.7. Perfil hematológico

El número de leucocitos aumentó 14% en verano con respecto a invierno. Estos resultados concuerdan con los de Correa et al. (2012), quienes reportan incremento de leucocitos en ovinos Santa Inés y sus cruzas en condiciones de estrés por calor. De igual manera, Ali-Gholi et al. (2007) reportaron un aumento de leucocitos en ganado *Bos taurus* en condiciones de estrés calórico. Este aumento de leucocitos se atribuye al incremento de la frecuencia cardíaca y presión sanguínea por efecto del cortisol, quien estimula a la migración de células de defensa (neutrófilos) a la circulación periférica, resultando en el incremento de leucocitos totales en la sangre (Correa et al., 2012). En este sentido, es posible un aumento en el riesgo de infecciones debido al efecto inmunosupresor del cortisol (Klein, 2014). Pantoja et al. (2017) reportaron valores altos en las concentraciones de neutrófilos y monocitos en ovinos Dorper en los meses de otoño e invierno, lo cual sugiere que los ovinos pudieron cursar con algún tipo de infección. Sin embargo, cabe mencionar que el número de leucocitos totales mantuvo su rango fisiológico normal de 4 a 12 X 10⁹/L (Jain, 1993)

Dentro del conteo de glóbulos rojos se incluye el número total de glóbulos rojos, hematocrito, hemoglobina, así como algunos índices eritrocitarios como volumen corpuscular medio (VCM), hemoglobina corpuscular media (HCM) y la concentración corpuscular media de hemoglobina (CCHM). En este estudio, los valores de glóbulos rojos, hemoglobina y hematocrito disminuyeron en la época de verano 13.5, 12.6 y 17.2% respectivamente, con respecto a invierno. Singh et al. (2016) reportaron disminuciones en los valores de glóbulos rojos y hematocrito de 6.7 y 8.55% respectivamente, en ovejas Choklas bajo condiciones de estrés calórico. Esta disminución pudo deberse a la saturación en la presión parcial de oxígeno, lo cual afectó negativamente la eritropoyesis al incrementar la FR como mecanismo termorregulatorio (Singh et al., 2016). Cabe mencionar que los ovinos del presente estudio aumentaron la FR como medio evaporativo para mantener la normotermia, además, se mantuvieron hidratados durante el verano, lo que pudo provocar una hemodilución e influir en una variación en la concentración de los niveles de las demás variables. De acuerdo con Correa et al. (2012), el incremento de los niveles en VCM y HCM son debido a una hemoconcentración por la pérdida de agua al aumentar la FR y sudoración. Otros autores también han encontrado incremento en los valores de glóbulos rojos, hemoglobina y hematocrito debido a las pérdidas de agua. Sejian et al. (2013) reportaron un incremento en los valores de hemoglobina y hematocrito debido a una severa deshidratación, como resultado del incremento de la FR y sudoración a modo de mecanismos evaporatorios en ovejas Malpura bajo condiciones de estrés por calor. Sin embargo, solo los glóbulos rojos se mantuvieron dentro del rango normal de $9 \text{ a } 15 \times 10^9$, al igual que concentración de hemoglobina de 9 a 15 g/dL (Jain 1993; Ochoa y Bouda, 2007), por otra parte, el hematocrito disminuyó de su rango normal de 27 a 45 % (Jain, 1993).

VI. CONCLUSIONES

Las condiciones climáticas indicaron que los ovinos estuvieron bajo estrés calórico moderado en la época de verano. La frecuencia respiratoria y temperatura rectal de los corderos engordados en verano fue superior a las de los engordados en invierno en los tres horarios medidos a través del día. Las imágenes termográficas de las regiones anatómicas indicaron pérdidas de calor por convección y radiación por medio de la redirección del flujo sanguíneo a la periferia en ojo, lomo, orejas y anca; de igual manera, hubo un aumento en el consumo de agua en verano. Consecuentemente, se modificaron las variables metabólicas y el perfil hematológico. Sin embargo, la temperatura rectal se mantuvo dentro de los rangos normales en ambas épocas, por lo tanto, los corderos no presentaron efectos adversos que comprometieran su integridad, indicando que los mecanismos termorregulatorios de los corderos fueron efectivos para enfrentar las condiciones estresantes de verano, confirmando que los ovinos Dorper x Katahdin tienen una excelente capacidad de termorregulación en climas cálidos.

VII. LITERATURA CITADA

- Al-Dawood, A. 2017. Towards heat stress management in small ruminants – a review. *Ann. Anim. Sci.* 17: 59 – 88.
- Al-Haidary, A. A. 2004. Physiological responses of Naimey sheep to heat stress challenge under semi-arid environments. *Inter. J. Agric. Biol.* 6: 307 – 309.
- Anzures-Olvera, F., U. Macías-Cruz, F. D. Álvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, R. Díaz-Molina, J. A. Hernández-Rivera, L. Avendaño-Reyes. 2015. Effect of season (summer vs. winter) on physiological variables, milk production and antioxidant capacity of Holstein cows in an arid zone of northwestern México. *Arch. Med. Vet.* 47: 15 – 20.
- 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.
- Baumgard, L. H., R. P. Rhoads Jr. 2013. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, 1(1): 311-337.
- Baumgard, L. H., R. P. Rhoads. 2012. Ruminant Nutrition Symposium: ruminant production and metabolic responses to heat stress. *J. Anim. Sci.* 90 (6), 1855-1865.
- Baumgard, L. H., R. P. Rhoads. 2013. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 1: 311 – 337.
- Belhadj, S. I., T. Najar, A. Ghram, M. Abdrrabba. 2016. Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects, a review. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 100: 401 – 412.
- Binsiya, T. K., V. Sejian, M. Bagath, G. Krishnan, I. Hyder, A. Manimara, A. M. Lees, J. B. Gaughan, R. Bhatta. 2017. Significance of hypothalamic – pituitary – adrenal axis to adapt climate change in livestock. *Int. Res. J. Agric. Food Sci.* 2 (1): 1 – 20.
- Cain, J. W., P. R. Krausman, S. Rosenstock, J. C. Turner. 2006. Mechanisms of thermoregulation and water balance in desert ungulates. *Wildlife Soc. B.* 34 (3): 570 – 581.

- Cardoso, C. C., F. G. Lima, G. Costa, C. S. Ribeiro, N. Oliveira, D. Cardoso, K. Laudares, R. Junior, B. M. E. Oliveira, H. Louvandini, C. McManus. 2010. Tolerância ao calor em animais mestiços de ovinos. Proceedings of 47^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Salvador, pp 1–3.
- Castanheira, M., S. R. Parva, H. Louvandini, A. Landim, M. C. Fiorvanti, B. S. Dallago, P. S. Correa P. S., C. McManus. 2010. Use of heat tolerance traits in discriminating between groups of sheep in Central Brazil. *Trop. Anim. Health Prod.* 42: 1821 – 1828.
- Chauhan, S. S., P. Celi, B. J. Leury, F. Liu, F. R. Dunshea. 2016. Exhaled breath condensate hydrogen peroxide concentration, a novel biomarker for assessment of oxidative stress in sheep during heat stress. *Anim. Prod. Sci.* 56: 1105 – 1112.
- Chauhan, S. S., P. Celi, B. J. Leury, F. R. Dunshea. 2015. High dietary selenium and vitamin E supplementation ameliorates the impacts of heat load on oxidative status and acid-base balance in sheep. *J. Anim. Sci.* 93: 3342 – 3354.
- Correa, M. P. C., M. T. Cardoso, M. Castanheira, A. V. Landim, B. S. L. Dallago, H. Louvandini, C. McManus. 2012. Heat tolerance in three genetic groups of lambs in central Brazil. *Small Rumin. Res.* 104: 70 – 77.
- Costa, P. W., D. A. E. Façanha, L. J. Morais, R. C. Da Silva, A. H. De Souza, C. D. Ferreira. 2015. Thermoregulatory responses and blood parameters of locally adapted ewes under natural weather conditions of Brazilian semiarid region. *Sem: Ci Agra.* 36 (6): 4589 – 4600.
- Cwynar, P., R. Kolacz, A. Czerski. 2014. Effect of heat stress on physiological parameters and blood composition in Polish Merino rams. *Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr.* 127, 177 – 182.
- Da Silva, R. G. 2000. Introdução à bioclimatologia animal. São Paulo: Nobel, p 286.
- Pantoja, M. H., S. N. Esteves, M. A. C. Jacinto, J. R. M. Pezzopane, C. C. P. de Paz, J. A. R. da Silva, J. B. L. Junior, F. Z. Brandao, A. B. B. Moura, N. Romanello, D. Botta, R. A. Garcia. 2017. Thermoregulation of male sheep of indigenous or exotic breeds in a tropical environment. *J. Therm. Biol.* 69, 302 – 310.

- Fadare, A. O., S. O. Peters, A. Yakubu, A. O. Sonibare, M. A. Adeleke, M.O. Ozoje, I. G. Imumorin. 2012. Physiological and hematological indices suggest superior heat tolerance of white-coloured West African Dwarf sheep in the hot humid tropics. *Trop. Anim. Health Prod.* 45 (1): 157 – 165.
- FAO. 2007. Adaptation to climate change in agriculture, forestry, and fisheries: Perspective, framework and priorities. *Interdepartmental Group Working on Climate Change*. Food and Agriculture of the United Nations. Rome, Italy.
- Fonseca, V. C., E. P. Saraiva, A. S. C. Maia, C. C. N. Nascimento, J. A. Da Silva, W. E. Pereira, E. C. P. Filho, M. E. V. Almeida. 2017. Models to predict both sensible and latent heat transfer in the respiratory tract of Morada Nova sheep under semiarid tropical environment. *Int. J. Biometeorol.* 67: 777 – 784.
- Ganong, W. F. *Fisiología Médica*. 23ª Edición. McGraw Hill. 2010. p.358.
- Gonzalez-Esquerria, R., S. Leeson. 2005. Effects of acute versus chronic heat stress on broiler response to dietary protein. *Poult. Sci.* 84 (10): 1562 – 1569.
- Gupta, M., S. Kumar, S. S. Dangi, B. L. Jangir. 2013. Physiological, biochemical and molecular responses to thermal stress in goats. *Int. J. Livest. Res.* 3 (2): 27 - 38.
- Hafez, E. S. E., B. Hafez. *Reproducción e Inseminación Artificial en Animales*. 7a Edición. McGraw-Hill Interamérica. México.
- Hahn, G. L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal head loads. *J. Anim. Sci.* 77: 10 – 20.
- Hahn, G. L., T. L. Mader, R. A. Eigenberg. 2003. Perspectives on development of thermal indices for animal studies and management. *Europ. Fed. Anim. Sci. Tech Ser.* 31 – 44.
- Indu, S., A. Pareek. 2015. A review: Growth and physiological adaptability of sheep to heat stress under semi –arid environment. *Int. J. Emer. Trends Sci. Technol.* 02 (9): 3188 – 3198.
- Indu, S., V. Sejian, M. K. Navqvi. 2014. Impact of simulated heat stress on growth, physiological adaptability, blood metabolites and endocrine responses in Malpura ewes under semiarid tropical environment. *Animal. Prod. Sci.* 2014:1 – 11.

- Jain, N. C., 1993. *Essentials of Veterinary Hematology*. Lea and Febiger, Philadelphia.
- Kadzere, C. T., M. R. Murphy, N. Silanikove, E. Maltz. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 77(1): 59-91.
- Kahwage, P. R., S. N. Esteves, M. A. C. Jacinto, W. B. Junior, J. R. M. Pezzopane, M. H. de Andrade Pantoja, C. Bosi, M. C. V. Miguel, K. Malhmeister, A. R. Garcia. 2017. High systemic and testicular thermolytic efficiency during heat tolerance test reflects better semen quality in rams of tropical breeds. *Int. J. Biometeorol.* 61(10): 1819 – 1829.
- Kalyan, D., D. Kumar, A. K. Singh, A. Sahoo, S. M. K. Naqvi. 2013. Seasonal variation of physiological response in ewes of farmer's flock under semi-arid tropical environment. *Biol. Rhythm. Res.* 45 (3):397 – 405.
- Klein, B. G. 2014. *Fisiología Veterinaria Cunningham*. 5a edición. Elsevier. España.
- Knížková, I., P. Kunc, G. A. K. Gürdil, Y. Pinar, K. C. Selvi. 2007. Applications of infrared thermography in animal production. *J. Fac. Agric.* 22(3): 329 – 336.
- Koneswaran, G., D. Nierenberg. 2008. Global farm animal production and global warming: impacting and mitigating climate change. *Environ. Health Perspec.* 116 (5): 578 – 582.
- Korde, J. P., G. Singh, V. P. Varsney, D. C. Shukla. 2007. Effects of long-term heat exposure on adaptive mechanism of blood acid-base in buffalo calves. *Asian-Australias. J. Anim. Sci.* 20 (5): 742 – 747.
- Laguna, J., E. Piña, F. Martínez, J. P. Pardo, H. Riveros. 2009. *Bioquímica de Laguna*. Editorial El Manual Moderno. UNAM. Facultad de Medicina. México.
- Leite, J. H. G. M., D. A. E. Façanha, W. P. Costa, D. F. Chaves, M. M. Guilhermino, W. S. T. Silva, L. A. Bermejo. 2018. Thermoregulatory responses related to coat traits of Brazilian native ewes: an adaptive approach. *J. Appl. Anim. Res.* 46 (1): 353-359.
- Lenis, S. Y., C. A. M. Zaluaga, M. A. M. Tarazona. 2015. Adaptative response to thermal stress in mammals. *Rev. Med. Vet.* 31: 121 – 135.
- Macías-Cruz, U., A. Correa-Calderón, M. Mellado, C. A. Meza-Herrera, C. F. Aréchiga, L. Avendaño-Reyes. 2018b. Thermoregulatory response to outdoor heat stress

- of hair sheep females at different physiological state. *Int. J. Biometeorol.* 62 (12): 2151 – 2160.
- Macías-Cruz, U., J. Montiel, A. Vicente, P. Maza, U. Sánchez, C. A. Meza, L. Avendaño, A. Correa, L. Ponce, R. Vicente. 2018c. Termorregulación de ovinos de pelo en condiciones termoneutrales: pérdidas de calor a través de la piel. XLII Congreso Nacional de Buiatría. Congreso llevado a cabo en Chihuahua, Chihuahua. Pp. 79 – 85.
- Macías-Cruz, U., M. A. Gastelum, L. Avendaño-Reyes, A. Correa-Calderón, M. Mellado, A. Chay-Canul, C. F. Aréchiga. 2018a. Variaciones en las respuestas termorregulatorias de ovejas de pelo durante los meses de verano en un clima desértico. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 9 (4): 739 – 753.
- Macías-Cruz, U., M. A. López-Baca, R. Vicente, A. Mejía, F. D. Álvarez, A. Correa-Calderón, C. A. Meza-Herrera, M. Mellado, J. E. Guerra-Liera, L. Avendaño-Reyes. 2016. 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.
- Marai, I. F. M., A. A. El-Darawany, A. Fadiel, M. A. M. Abdel-Hafez. 2007. Physiological traits as affected by heat stress in sheep. A review. *Small Rumin. Res.* 71: 1–12.
- McCutcheon, L. 2007. Termorregulación y enfermedad del calor asociada con el ejercicio. En: Hinchliff K, Kaneps AJ, Geor RJ. *Medicina y cirugía en los equinos de deporte: Ciencias básicas y clínicas de los equinos de deporte.* Buenos Aires, Argentina: Editorial Intermédica. p. 1076 – 1077.
- Ochoa, L. N., J. Bouda. 2007. *Patología Clínica Veterinaria.* UNAM, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México, D.F.
- Okoruwa, M.I. 2014. Effect of heat stress on thermoregulatory, live body weight and physiological responses of dwarf goats in southern Nigeria. *Europ. Sci. J.* 10: 255 – 264.
- Paim, T. P., B. O. Borges, P. M. T. Lima, B. Dallago, H. Louvandini, C. McManus. 2012. Relation between thermographic temperatures of lambs and thermal comfort indices. *Int. J. Appl. Anim. Sci.* 1 (4): 108 – 115.

- Rashamol, V. P., V. Sejian, M. Bagath, G. Krishnan, P. R. Archana, R. Bhatta. 2018. Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 6: 62 – 71.
- Rashid, M. M., M. M. Hossain, M. A. K. Azad, M. A. Hashem. 2013. Long term cyclic heat stress influences physiological responses and blood characteristics in indigenous sheep. *Bang. J. Anim. Sci.* 42 (2): 96 – 100.
- Rasooli, A., M. Nouri, G.H. Khadjeh, A. Rasekh. 2004. The influences of seasonal variations on thyroid activity and some biochemical parameters of cattle. *Iran. J. Vet. Res.* 5: 1383 – 1391.
- Rhoads, R. P., L. H. Baumgard, L. Zhao. 2016. The physiology of heat stress: a shift in metabolic priorities at the systemic and cellular levels. *Ceiba* 54 (1): 50 - 58.
- Samanc, H., D. Kirovski, V. Stojic, D. Stojanovic, I. Vujanac, R. Prodanovic, S. Bojkovic-Kovacevic. 2011. Application of the metabolic profile test in the prediction and diagnosis of fatty liver in Holstein cows. *Acta Vet.* 61: 543-553.
- Santo da Cruz, R. E., F. M. Rocha, C. V. B. Sena, P. G. Noletto, E. C. Guimarães, J. A. Galo, A. V. Mundim. 2017. Effects of age and sex on blood biochemistry of dorper lambs. *Sem.: Ci. Agra.* 38 (5): 3085 – 3093.
- Sejian, V. G., M. R. Bhatta, J. Gaughan, P. K. Malik, S. M. K. Naqvi, R. Lal. 2017b. *Sheep Production Adapting to Climate Change.* Springer. India.
- Sejian, V. G., V. Maurya, K. Kumar, N. S. Khursheed. 2013. Effect of multiple stresses on growth and adaptive capability of Malpura ewes under semi-arid tropical environment. *Trop. Anim. Health. Prod.* 45: 107 – 116.
- Sejian, V., D. Kumar, J. B. Gaughan, S. M. Naqvi. 2017a. Effect of multiple environmental stressors on the adaptive capability of Malpura rams based on physiological responses in a semi-arid tropical environment. *J. Vet. Behavior.* 17: 6 – 13.
- Sejian, V., R. S. Srivastava. 2010. Effects of melatonin on adrenal cortical functions of Indian goats under thermal stress. *Vet. Med. Int.* 2010: 348916.
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 67: 1 – 18.

- Singh, K. M., S. Singh, I. Ganguly, A. Ganguly, R. K. Nachiappan, A. Chopra, H. K. Narula. 2016. Evaluation of Indian sheep breeds of arid zone under heat stress condition. *Small Rumin. Res.* 141: 113 – 117.
- Sivakumar, A. V. N., G. Singh, V. P. Varshney. 2010. Antioxidants supplementation on acid base balance during heat stress in goats. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 23: 1462 – 1468.
- Sousa, M. G., R. Carareto, V. A. Perira, M. C. C. Aquino. 2011. Comparison between auricular and standard rectal thermometers for the measurement of body temperature in dogs. *Can. Vet. J.* 52:403 – 406.
- Stewart, M., J. R. Webster, A. L. Schaefer, N. J. Cook, S. L. Scott. 2005. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Anim. Welfare.* 14: 319 – 325.
- Stewart, M., J. R. Webster, G. A. Verkerk, A. L. Schaefer, J. J. Colyn, K. J. Stafford. 2007. Non-invasive measurement of stress in dairy cows using infrared thermography. *Physiol. Behav.* 92: 520 – 525.
- Thornton P. K. 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philos. Trans. Royal Soc. B: Biol. Sci.* 365:2853-2867.
- Todini, L. 2007. Thyroid hormones in small ruminants: effects of endogenous, environmental and nutritional factors. *Animal.* 1(7): 997 – 1008.
- Vicente-Pérez, A., L. Avendaño-Reyes, R. Barajas-Cruz, U. Macías-Cruz, A. Correa-Calderón, R. Vicente-Pérez, J. L. Corrales-Navarro, J. E. Guerra-Liera. 2018a. Parámetros bioquímicos en ovinos de pelo con y sin sombra bajo condiciones desérticas. *Ecosist. Recur. Agropec.* 5 (4): 259 – 269.
- Vicente-Pérez, R., L. Avendaño-Reyes, A. Mejía-Vázquez, F. D. Álvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, A. Meza-Herrera, J. E. Guerra-Liera, P. H. Robinson, U. Macías-Cruz. 2016b. Prediction of rectal temperature using non-invasive physiologic variable measurements in hair pregnant ewes subjected to natural conditions of heat stress. *J. Therm. Biol.* 55: 1 – 6.
- Vicente-Pérez, R., U. Macías-Cruz, L. Avendaño-Reyes, A. Correa-Calderón, M. A. López Baca, A. L. Lara Rivera. (en prensa). Impacto del estrés por calor en la producción de ovinos de pelo. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.*

- Vidal, R. 2019. Temperaturas extremas de México. Instituto de Geografía UNAM. Disponible en: http://www.igeograf.unam.mx/Geodig/nvo_atlas/5_naturaleza_ambiente/4_clima/NA_IV_3.jpg (Accesado: 28 de junio de 2019).
- Wojtas, K., P. Cwynar, R. Kołacz. 2014. Effect of thermal stress on physiological and blood parameters in merino sheep. Bull. Vet. Inst. Pulawy. 58 (2): 283 – 288.
- Zhao, Z. D., W. Z. Yang, C. Gao, X. Fu, W. Zhang, Q. Zhou, W. Chen, X. Ni, J. K. Lin, J. Yang, X. H. Xu, W. L. Shen. 2017. A hypothalamic circuit that controls body temperature. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 114 (8): 2042 – 2047.