

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**



**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO, CARACTERÍSTICAS DE  
LA CANAL Y CALIDAD DE LA CARNE DE CORDEROS  
ENGORDADOS EN VERANO E INVIERNO**

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:**

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

**PRESENTA**

**I.A.Z. Oscar Romario Saavedra Buenrostro**

**DIRECTOR**

**Dr. Ulises Macías Cruz**

**Mexicali, B.C.**

**Diciembre del 2019**

La presente tesis titulada “**Comportamiento productivo, características de la canal y calidad de la carne de corderos engordados en verano e invierno**”, realizada por el **C. Oscar Romario Saavedra Buenrostro**, fue dirigida por el **Dr. Ulises Macías Cruz**, siendo aceptada, revisada 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



Dr. Ulises Macías Cruz

Sinodal



Dr. Leonel Avendaño Reyes

Sinodal



Dr. Abelardo Correa Calderón

Sinodal



Dr. Ricardo Vicente Pérez

**“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE”**

Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México, diciembre de 2019.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero que nada, le agradezco a **DIOS** por permitirme llegar a este punto en mi preparación.

A mi **MADRE, PADRE Y HERMANA** por todo el consejo, tiempo, dedicación que me han dado, y por las palabras fuertes que a veces se necesitan para poder volver al sendero ya que como una vez escuche decir: ¡¡¡No es difícil llegar sino mantenerse!!!

Gracias a todos mis **Familiares** de sangre y de otros motivos por ayudarme, prestándome sus pertenencias como su casa, tiempo, solo por mencionar algunas, para llegar a este objetivo que no ha sido sencillo.

Gracias a mis **Maestros** de la Maestría por compartir sus conocimientos y de ese entusiasmado empeño que tienen por trasmitirlo tanto, que a veces perdían el control por querer enseñar. Nomás me queda decirles Gracias, y espero que yo les haya podido trasmitir algo de lo que Sé a mi edad.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo y grado académico a mis padres y hermana, por haber sacrificado momentos de convivencia con ell@s para poder llegar a este momento tan anhelado.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>RESUMEN</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
2.1. Producción ovina en México.....	3
2.2. Estrés calórico en la producción de ovinos.....	6
2.3. Termorregulación de ovinos de pelo.....	9
2.4. Estrés calórico en la engorda de ovinos de pelo.....	13
2.4.1. Comportamiento productivo.....	13
2.4.2. Características de canal.....	15
2.4.3. Cortes primarios.....	16
2.4.4. Calidad de la carne.....	17
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	19
3.1. Lugar de estudio y aprobación de procedimientos.....	19
3.2. Animales, tratamiento y manejo.....	19
3.3. Colección de datos en ambas épocas.....	21
3.3.1. Condiciones climáticas.....	21
3.3.2. Variables fisiológicas.....	21
3.3.3. Comportamiento productivo.....	21
3.3.4. Características de la canal y rendimiento de cortes primarios.....	22
3.3.5. Calidad de la carne.....	23
3.4. Análisis estadístico.....	23
<b>4. RESULTADOS</b> .....	25
4.1. Condiciones climáticas.....	25
4.2. Variables fisiológicas.....	25
4.3. Comportamiento productivo.....	26
4.4. Características de la canal.....	27
4.5. Despojos del cuerpo.....	28

4.6. Rendimiento de cortes primarios.....	29
4.7. Calidad de la carne.....	30
<b>5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>32</b>
5.1. Condiciones climáticas.....	32
5.2. Variables fisiológicas.....	32
5.3. Comportamiento productivo.....	33
5.4. Características de la canal.....	34
5.5. Despojos y rendimiento de cortes primarios .....	35
5.6. Calidad de la carne.....	36
<b>6. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
<b>7. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>38</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Ingredientes y composición química de la dieta base utilizada para alimentar corderos machos en invierno y verano. ....	21
<b>Cuadro 2.</b> Estadísticos descriptivos de las variables climáticas registradas durante el período de estudio en invierno y verano. ....	26
<b>Cuadro 3.</b> Efecto del estrés por calor de verano <i>versus</i> condiciones de invierno sobre el comportamiento productivo de corderos de raza de pelo finalizados en corral en una región árida.....	28
<b>Cuadro 4.</b> Efectos del estrés por calor de verano <i>versus</i> condiciones de invierno sobre las características de la canal y deposición de grasa corporal en corderos de raza de pelo finalizados en corral en una región árida.....	29
<b>Cuadro 5.</b> Efecto del estrés por calor de verano <i>versus</i> condiciones de invierno sobre los porcentajes de cada despojo corporal en corderos de pelo finalizados en corral en una región árida. ....	30
<b>Cuadro 6.</b> Efecto del estrés por calor de verano <i>versus</i> condiciones de invierno sobre los rendimientos de cortes primarios de corderos de raza de pelo finalizados en corral en una región árida.....	31
<b>Cuadro 7.</b> Efecto del estrés por calor de verano <i>versus</i> condiciones de invierno sobre las características de calidad de la carne de corderos de pelo finalizados en corral en una región árida.....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Variación circadiana de temperatura rectal y frecuencia respiratoria en corderos sometidos a estrés calórico de verano *versus* condiciones de invierno en una región árida.

.....

27

## RESUMEN

Veinte corderos machos Dorper x Katahdin (PV promedio  $33.9 \pm 0.4$  kg y edad = 4.5 meses) fueron alojados individualmente durante un período de alimentación de 30 días para evaluar los efectos del estrés por calor (invierno [n = 10] vs. verano [n = 10]) sobre el comportamiento productivo, características de la canal, rendimientos de cortes primarios y calidad de la carne. En verano prevalecieron condiciones ambientales de estrés por calor (temperatura=  $28.4$  °C e índice de temperatura-humedad [ITH]= 26.4 unidades), mientras que en invierno fueron mayormente termoneutrales (temperatura=  $19.2$  °C e ITH= 18.3 unidades). La ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia, así como el peso vivo vacío al sacrificio, el peso de la canal fría, el porcentaje de grasa omental y el rendimiento del lomo fueron menores ( $P < 0.05$ ) en verano que en invierno. La deposición de grasa renal y los rendimientos de canal caliente, cuello y paleta fueron mayores ( $P < 0.05$ ) en verano que en invierno. La carne después de 14 días de maduración postmortem exhibió ( $P < 0.05$ ) mayor luminosidad, enrojecimiento, amarillez y dureza en verano que en invierno. En conclusión, el estrés por calor del verano disminuyó el crecimiento y la eficiencia alimenticia sin afectar el consumo de alimento en corderos de pelo. Además, el estrés por calor mejoró el rendimiento de la canal sin cambios perjudiciales en la calidad de la carne.

**Palabras claves:** Raza de pelo; corderos de engorda; clima cálido; tasa de crecimiento; ternura de la carne.

## ABSTRACT

Twenty Dorper × Katahdin male lambs (average= 33.9 ± 0.4 kg and age= 4.5 mo.) were individually housed for a 30-d feeding period to evaluate the effects of seasonal heat stress (winter [n= 10] vs. summer [n= 10]) on feedlot performance, carcass traits, wholesale cut yields and meat quality. Heat stress environmental conditions prevailed in summer (temperature= 28.4 °C and temperature-humidity index [THI]= 26.4 units and mostly thermoneutral in winter (temperature= 19.2 °C and THI= 18.3 units). Overall growth rate and feed efficiency, as well as empty body weight at slaughter, cold carcass weight, omental fat percentage, and loin yield were lower ( $P < 0.05$ ) in summer than in winter. The kidney-pelvic-heart fat deposition and yields of hot carcass, neck and shoulder were greater ( $P < 0.05$ ) in summer compared to winter. After 14 d of postmortem aging, the meat produced in summer exhibited greater ( $P < 0.05$ ) lightness, redness, yellowness and toughness than the meat produced in winter. In conclusion, summer heat stress decreased growth and feed efficiency without affecting feed intake of hair male lambs. Additionally, heat stress improved carcass yield with no detrimental changes on meat quality.

**Keywords:** Hair breed; fattening lambs; warm climate; growth rate; mutton tenderness

## 1. INTRODUCCIÓN

Los ovinos de raza de pelo se distribuyen ampliamente en regiones agroecológicas cálidas de todo el mundo, ya que tienen una mayor capacidad para adaptarse a climas extremos, así como una alta habilidad para transformar alimentos fibrosos y de baja calidad en carne comparado con ovinos de lana u otras especies de ganado (Sejian et al., 2017; Vicente-Pérez et al., en prensa). Sin embargo, las temperaturas ambientales de verano en las regiones áridas se elevan por encima del límite superior de la zona termoneutral para los ovinos de pelo (15 a 30 ° C; Neves et al., 2009), situación ambiental que expone a los ovinos a condiciones de estrés calórico (EC) y provoca una reducción en el comportamiento productivo y en la producción de carne en los corderos (Macías-Cruz et al., 2013; Vicente-Pérez et al., en prensa).

Las altas temperaturas ambientales en verano exigen a los ovinos un gasto energético adicional para el mantenimiento debido a la activación de los mecanismos de termorregulación, pero al mismo tiempo provoca una reducción en el consumo de alimentos (Al-Dawood, 2017). En un intento por compensar el déficit nutricional, los ovinos estresadas por el calor disminuyen la actividad anabólica y aumentan su catabolismo de grasa y tejido muscular (Marai et al., 2007; Sejian et al., 2018). En consecuencia, los corderos engordados en corral durante el verano experimentan un comportamiento productivo inadecuado, incluyendo una tasa de crecimiento lenta debido a un bajo consumo de alimento y eficiencia alimenticia (Dixon et al., 1999; Bernabucci et al., 2009; Sejian et al., 2017). Estos efectos negativos se reflejan a nivel de la canal y en los rendimientos de los cortes primarios, ya que la acción catabólica del EC disminuye la masa muscular (Sejian et al., 2017). Algunos estudios han reportado menor ganancia de peso de canal, peso de canal caliente (PCC), rendimiento en canal, área del músculo Longissimus y deposición de grasa en corderos engordados bajo EC (Kouba et al., 2001; Rana et al., 2014; Kett, 2018). Además, la calidad de la carne de corderos también se ve alterada por efecto del EC, la cual tiende a volverse oscura y dura conforme al pH postmortem permanece alto (> 6.0) debido a que el estrés térmico durante la engorda conduce a una disminución en los niveles de glucógeno muscular al sacrificio (Gregory, 2010; Xing et al., 2019). Cabe mencionar que el grado de afectación del EC sobre el comportamiento productivo, características de la canal y la calidad de la

carne de los corderos difiere entre las razas y con el tipo de EC. Las razas de ovinos adaptados son más efectivas para mantener normotermia, por lo tanto, son menos susceptibles a los efectos drásticos del EC sobre el crecimiento, la canal y la carne en comparación con las razas no adaptadas (Mahjoubi et al., 2014; Ponnampalam et al., 2017; Sejian et al., 2017).

Aun cuando los ovinos de pelo son un tipo de raza adaptada a las condiciones de EC de verano en regiones áridas (Macías-Cruz et al., 2016a; 2016b), se conoce poco sobre el comportamiento productivo y las características de la canal que exhiben este tipo de corderos bajo dichas condiciones ambientales. Algunas evidencias sugieren que el EC de verano disminuye la ganancia de peso y aumenta el rendimiento de canal sin afectar el consumo de alimento y PCC en corderas de pelo Dorper × Pelibuey (Macías-Cruz et al., 2013). Además, no se encontró información en la literatura relacionada los rendimientos de los cortes primarios y la calidad de la carne debido al efecto EC para corderos de raza de pelo. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos del estrés por calor (invierno vs. verano) sobre el comportamiento productivo, las características de la canal, los rendimientos de los cortes primarios y la calidad de la carne en corderos de engorda criados en una región árida.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Producción de ovinos en México

Los ovinos representan una especie importante en la producción de proteína de origen animal en México. El inventario nacional ovino para el año 2008 fue de 7.76 millones de cabezas, mientras que para el año 2017 la población alcanzó 8.90 millones de ovinos, estas cifras representan un crecimiento del 12.86 % en el inventario nacional y una tasa promedio de crecimiento anual de 1.27 % durante estos últimos 10 años. Las entidades federativas con mayor número de ovinos son el Estado de México (1.45 millones de cabezas) y el estado de Hidalgo (1.21 millones de cabezas) equivalentes al 16.29 % y el 13.65 % del inventario total nacional, respectivamente. Otros estados de la República Mexicana con una alta población ovina son Veracruz (7.8 %), Oaxaca (5.9 %) y Puebla (5.7 %; SIAP, 2017). En el norte del país destaca San Luis Potosí, Jalisco y Zacatecas, aunque en su conjunto solo representan el 13.62 % del inventario ovino total nacional.

Respecto a la producción, según datos del SIAP (2017), se estimó que la producción de carne de ovinos en canal para el 2017 fue de 61.6 miles de toneladas, siendo el Estado de México el que más produjo (14.68 %), seguido del estado de Hidalgo (11.35 %) y Veracruz (8.35 %). Los estados de Zacatecas (7.32 %), Puebla (6.92 %) y Jalisco (6.77 %) también contribuyeron significativamente al registro de producción nacional de carne de ovinos en canal. En términos generales, el mayor productor de carne ovina en la República Mexicana es el Estado de México, seguido de Hidalgo, estado que también es catalogado como el mayor productor de lana (Hernández-Marín et al., 2017).

En general, la producción ovina en México ha sufrido cambios importantes en las últimas décadas, particularmente en el tipo de razas explotadas. En el año 1992 se reportaba que la producción de carne en las regiones templadas, áridas y semiáridas del país se realizaba con ovinos de lana, criollos y razas puras introducidas, mientras en las áreas tropicales y subtropicales se utilizaban ovinos de pelo, en específico la raza Pelibuey (De la Peña y Martínez-Rojas, 1992). No obstante, para el año 2000 la distribución de ovinos de raza de pelo ya se había extendido en todo el territorio nacional (García-Castillo, 2000). Lo anterior obedece a que el objetivo de producción se

modificó, siendo prioritaria la producción de carne sobre la de lana en la industria ovina nacional e internacional.

En años recientes, se ha reportado que entre el 60 y 70% de la población ovina prevaleciente en regiones tropicales, áridas y semiáridas, es de raza o cruza de pelo (Catunda et al., 2013). Los ovinos de raza de pelo que predominan son Pelibuey, Blackbelly, Katahdin y Dorper (Hinojosa-Cuellar et al., 2015; Sánchez-Dávila et al., 2015), además de un grupo de ovinos de pelo denominados como criollos (Arroyo et al., 2016). La tendencia al uso de ovinos de raza de pelo para la producción de carne obedece a la habilidad que tienen estas razas de adaptarse a climas extremos y a escasez de forraje, así como a su resistencia natural a parásitos y capacidad de aprovechar esquilmos agrícolas en forma eficiente (Avendaño- Reyes et al., 2004).

Otra característica que posiblemente ha sido trascendental para que los ovinocultores comenzaran a sustituir parcialmente las razas de lana por raza de pelo, ha sido la capacidad de estas últimas de reproducirse prácticamente todo el año (Gastélum-Delgado et al., 2015; Macías-Cruz et al., 2015), lo que resulta favorable para el productor debido a que no se hace estacional la producción de corderos, siendo esta una ventaja frente a razas de lana que comúnmente se caracterizan por ser estacionales. Adicionalmente, las razas de pelo se caracterizan por tener alta habilidad materna y rusticidad, lo cual les permite procrearse y sobrevivir en condiciones de pastoreo extensivo como en sistemas intensivos y altamente tecnificados (Avendaño-Reyes et al., 2004; Macías-Cruz et al., 2012).

Los sistemas de producción ovina en México son muy variados y dependen de diversos factores como el clima, disponibilidad de recursos alimenticios y nivel socioeconómico de los productores (Vélez et al., 2016). No obstante, se identifican ampliamente dos sistemas bien diferenciados de producción con respecto a la infraestructura y tipo de alimentación, el sistema extensivo y el sistema intensivo, así como un tercer sistema de producción que resulta de la combinación de los dos primeros sistemas, el cual se conoce como sistema de producción mixto o semi-intensivo.

Los sistemas extensivos mantienen a los animales en condiciones de pastoreo en agostaderos naturales o en potreros acondicionados con pastos introducidos, se

auxilia del pastoreo de rastrojos de cultivos durante épocas de estiaje y, normalmente es carente del uso de tecnología básica (De la Peña et al., 2013). No obstante, este sistema de producción es económicamente el más atractivo para los productores ovinos en México, debido a que requiere de poca inversión en infraestructura, los costos de alimentación son bajos debido a que el propio animal cosecha lo que consume, genera proteína de alta calidad y es una fuente de empleo para regiones marginales y de escasas alternativas laborales (Rangel et al., 2014). Contrariamente, el sistema intensivo se caracteriza por ser altamente tecnificado, los animales se alimentan con dietas basadas en raciones con granos e insumos proteicos, que son suministrados a los animales en completa o parcial estabulación en corrales construidos a nivel de piso o elevados (De la Peña et al., 2013). Finalmente, en los sistemas semi-intensivos, es común que la cría y el mantenimiento de los ovinos se desarrolla en pastoreo, se apoya de corrales donde se suplementan minerales, y concentrados, particularmente en épocas de sequía, pero la engorda generalmente se realiza de forma intensificada.

En lo particular, en el norte de México, la disponibilidad de forraje es escasa y las condiciones climáticas prevalecientes en verano son de EC. Esto ocurre a lo extenso de las regiones áridas y semiáridas del norte del país, donde la baja precipitación pluvial propicia agostaderos pobres en pastos, pero abundan arbustos adaptados a dichas condiciones agroclimáticas. Por sus condiciones, en estas regiones del norte del país es común observar una ganadería ovina de tipo extensiva, con pastoreo diurno y encierro nocturno, con una capacidad de carga animal de una oveja por cada 10 ha (COTECOCA, 2016). En este sentido, el manejo de los animales bajo este sistema de producción es limitado, ya que solo en algunos casos se adopta la rotación de los potreros, tratamientos preventivos y selección de animales para remplazo. Finalmente, Esqueda-Coronado y Gutiérrez-Ronquillo (2009) mencionan que los ovinos se encuentran desprotegidos bajo este sistema de producción, observándose una alta tasa de mortalidad en animales de todas las edades debido a depredación por fauna silvestre, complicaciones al parto o en etapa de pre-destete, en particular por las condiciones climáticas.

## 2.2 Estrés calórico en la producción de ovinos

Todos los animales domésticos tienen un rango de temperatura ambiente de confort térmico (zona termoneutral) para expresar al máximo su potencial biológico. En estas condiciones de temperatura, los animales naturalmente mantienen un equilibrio entre su temperatura corporal interna y la temperatura del ambiente externo, es decir, no realizan esfuerzo adicional para mantener en homeotermia (39-40°C). Al respecto, Fuquay (1981) establece que en los ovinos la temperatura ambiente de confort térmico fluctúa entre 18 y 27°C, otros autores establecen rangos muy similares. Según Gesualdi et al. (2014), la temperatura de confort térmico para ovinos oscila entre 15 y 30°C. Estas discrepancias hacen pertinente mencionar que los límites de temperatura de la zona de confort térmico y de la temperatura corporal pueden variar por la raza, el estado fisiológico y el tipo de alimentación (Hoffam, 2010). En condiciones de confort térmico la temperatura rectal (TR) permanece dentro de parámetros normales, la cual oscila entre 38.3 y 39.9°C (Bell et al., 1989); mientras la frecuencia respiratoria (FR) es <40 respiraciones por minuto (Silanikove, 2000).

Los ovinos, al igual que otros mamíferos homeotermos, tienen la capacidad de regular su temperatura corporal interna respecto a la del medio ambiente externo para mantenerse en condiciones de normotermia (Mendoza et al., 2010). Sin embargo, un aumento en la temperatura ambiente ( $T_a$ ) puede comprometer dicho equilibrio homeostático de los animales, ocasionándoles estrés. Cabe destacar que cualquier variación en la temperatura ambiental fuera de los límites de temperatura de la zona termoneutral afectará el equilibrio homeostático de los animales. En el caso de un aumento en la  $T_a$ , pero con una limitada respuesta e incapacidad para disipar el exceso de calor corporal interno hacia el ambiente por parte de los animales, estos entrarán en un estado de estrés calórico (EC). En otras palabras, el EC es un estado fisiológico de desequilibrio homeostático, en el cual los mamíferos homeotermos elevan su temperatura corporal interna en condiciones de altas temperaturas ambientales (Mendoza et al., 2010).

En las zonas áridas de México, los problemas del EC son cada vez más agudos. No obstante, el problema de EC ya no es exclusivo de estas regiones, ya que actualmente se observa EC en regiones donde antes no existía (Silanikove, 2000). Esto

obedece al aumento de la temperatura global, lo cual como consecuencia promueve que se observe EC en los animales y sus efectos negativos en zonas donde no era común que se desarrollara este tipo de condiciones (Nardone et al., 2010). Cabe mencionar que, los efectos negativos del EC en la producción ovina se relacionan con aspectos inmunológicos, de crecimiento y reproductivos (Odeón y Romera, 2017). Así, la producción ovina se ve afectada negativamente y, en consecuencia, el retorno económico al sistemas de producción se afecta considerablemente (Marai et al., 2008).

El EC deprime el sistema inmunológico de los ovinos, los hace más susceptibles al ataque de microorganismos patógenos y se hacen propensos de contraer enfermedades con mayor facilidad (Al-Dawood, 2017). Lo anterior se debe a que las afectaciones por EC en el sistema inmune incluyen debilitamiento en las barreras físicas de defensa como la piel y mucosas, así mismo, afectaciones en leucocitos y en la activación de mediadores pro-inflamatorios (Al-Dawood, 2017). Algunos estudios sugieren que a consecuencia de las alteraciones en el sistema inmune se inhibe la rumia, pudiéndose presentar problemas de digestibilidad de los alimentos y acidosis ruminal (Odeón y Romera, 2017). Otro escenario que explica la merma de la productividad de los rumiantes por efecto del EC es la reducción en el consumo de alimento (Cain et al., 2006).

Un consumo restringido de alimento implica, a su vez, reducción en el consumo de energía, lo cual se traduce en balance energético negativo, reduciendo evidentemente el combustible energético requerido para el crecimiento (Renaudeau et al., 2012). Adicionalmente, el EC provoca que los requerimientos de energía para mantenimiento se incrementen, pero también se observa menor eficiencia alimenticia (NRC, 1981). Esto se debe a que la demanda de energía es para soportar el metabolismo de tejidos y músculos estremecidos por la activación de mecanismos de disipación de calor corporal. El incremento de la FR es un mecanismo termorregulatorio que puede incrementar el gasto energético debido al movimiento del diafragma y espasmos musculares, contribuyendo a que los requerimientos energéticos de mantenimiento sean mayores (Cain et al., 2006). Al respecto, NRC (1981) estableció que los requerimientos energéticos para el mantenimiento del metabolismo basal incrementan entre 7 y 20% por la acción de incrementar la FR y el jadeo por el EC. En

este sentido, menor ingesta de energía y mayor demanda energética del metabolismo basal hace que la cantidad de energía que pudiera ser utilizada para el desarrollo muscular y otros tejidos relacionados al crecimiento sea mínima.

Aunado a lo anterior, el EC deprime la digestibilidad de la materia seca, extracto etéreo y metabolismo de la energía, siendo más severo en dietas altas (75%) en forraje (Bhattacharya y Hussain, 1974). De esta manera, en condiciones de EC es común observar, animales débiles, con bajo peso vivo y condición corporal (Abdel, 2002), tornándose más crítico en escenarios de baja la calidad y disponibilidad del recurso alimenticios, lo cual ocurre muy constantemente en épocas de verano de regiones áridas y semiáridas del mundo (González-Bulnes et al., 2009).

A nivel reproductivo, el EC afecta el funcionamiento normal del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal mediante la activación eje hipotálamo-hipófisis adrenal (eje del estrés). Al activarse el eje del estrés, se liberan corticosteroides de la corteza adrenal, principalmente el cortisol, hormona que a nivel hipotálamo promueve una retroalimentación negativa sobre la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) (Smith y Vale, 2006). Así, al no haber liberación de GnRH no hay síntesis ni de la hormona folículo estimulante y ni de la hormona luteinizante en la hipófisis, lo cual, a su vez, afecta la foliculogénesis, esteroidogénesis y otros eventos endocrinológicos que desencadenan todos los procesos ovulatorios (Li et al., 2010; Ralph et al., 2016). Así a través de mecanismos hormonales y neuroendocrinos se reduce e inhibe el estro y la ovulación y, como consecuencia se reduce la fertilidad y la prolificidad, comprometiendo la producción de corderos por efecto del EC.

El EC durante la gestación perturba el crecimiento placentario y su funcionalidad, ocasionando disminución útero-placentario de flujo sanguíneo y de productos metabólicos necesarios para la nutrición fetal, lo cual promueve restricción de crecimiento fetal (Marai et al., 2008) y momificación de fetos en gestaciones avanzadas (Vicente-Pérez et al., 2015). Tales disturbios inducen bajos pesos al nacimiento, disminución del tamaño de camada y altas tasas de mortalidad perinatal, reduciendo la productividad de la oveja al parto y consecuentemente del rebaño. En este sentido, es necesario detectar la presencia de EC para implementar estrategias de mitigación en tiempo oportuno y así evitar afectaciones en la producción ovina.

El tipo de EC al que se exponen los ovinos puede ser detectado basándose en las condiciones ambientales, tal como el uso de un índice que involucra la temperatura y la humedad (ITH). Acorde con este índice, el EC se clasifica como moderado (82 a <84 unidades), severo (84 a <86 unidades) y extremadamente severo ( $\geq 86$  unidades) (Marai et al., 2007). En este sentido, los ovinos comienzan a experimentar EC cuando el ITH es mayor o igual a las 82 unidades. No obstante, esta clasificación podría ser de tipo referencial y no decisivo, si se considera que otros autores indicaron que el punto de inicio del EC es menor a 79 unidades de ITH (Neves et al. 2009, López et al., 2015). Acorde con Neves et al. (2009) 79 unidades de ITH fue el límite para que ovinos Santa Inés adaptadas a elevadas temperaturas iniciaran a experimentar EC. Sin embargo, López et al. (2015) mencionan que al igual que en ganado lechero, Ovinos West African presentan signos de estrés cuando el ITH alcanza 72 unidades. Considerando estas observaciones, se esperaría que las ovejas de lana comenzaran a experimentar signos de EC a un menor ITH, tomando en cuenta que ha sido ampliamente evidenciado que los ovinos de pelo tienden a tolerar más las condiciones de altas temperaturas ambientales. En este sentido, se debe tener mucho cuidado y valorar detenidamente la aplicación de las referencias de ITH sugerida por Marai et al. (2007), ya que con base a otros autores esta clasificación podría estar sobrevalorada para ovinos.

El uso de la FR también es una herramienta útil para estimar si los ovinos experimentan EC (Silanikove, 2000, Seixas et al., 2017). Esta técnica usa una escala basado en el número de respiraciones por minuto (rpm), donde se considera ausencia de EC cuando un ovino tiene una tasa respiratoria <40 rpm, y comienza a experimentar EC cuando la FR es de 40 rpm. Las categorías de EC según el número de rpm son las siguientes: bajo (40-60 rpm), medio-alto (61-80 rpm), alto (81 a 120 rpm) y severo (>200 rpm). Aunque esta clasificación es poco usada, podría ser complemento al cálculo del ITH para establecer el tipo de ambiente al que están sujetos los ovinos.

### **2.3 Termorregulación de ovinos de pelo**

Con base a lo descrito anteriormente, los rumiantes por ser animales homeotermos tienen la capacidad de mantener su temperatura corporal interna dentro de parámetros normales. El equilibrio de la temperatura corporal del animal respecto al

del ambiente se logra a través de mecanismos sensibles que actúan rápidamente para transferir o irradiar calor cuando ocurren aumento en la Ta (Mendoza et al., 2010). Se considera que la tasa de transferencia de calor del animal al ambiente depende de la temperatura y de los gradientes de calor y, de forma natural, la estabilidad térmica se logra a través de un intercambio de energía del organismo al entorno por convección, conducción, radiación y activación de mecanismos evaporativos de termorregulación (Macías-Cruz et al., 2018).

La transferencia o disipación de calor por convección, conducción y radiación no implica algún esfuerzo por parte de los animales, por lo general, estos mecanismos solo son útiles cuando predominan condiciones ambientales termoneutrales (Moberg y Mench, 2000). En tanto, la transferencia de calor corporal al ambiente vía evaporativa, implica participación activa de órganos y de los sistemas de termorregulación de los animales, los cuales se activan cuando existen condiciones de altas temperaturas ambientales (Marai et al., 2007). De tal manera que, a medida que la Ta se aproxima a la temperatura corporal del animal, las pérdidas de calor no evaporativo se vuelven muy pequeñas, obligando al animal a disipar el calor por medio de la evaporación (Cena y Monteith, 1975). Por lo tanto, los medios evaporativos de termorregulación son mecanismos fisiológicos que se activan cuando los ovinos se exponen a temperaturas ambientales elevadas y experimentan signos de EC. No obstante, para evitar una hipertermia, también se pueden activar mecanismos endocrinológicos y metabólicos de termorregulación, aunque la efectividad de los mecanismos de termorregulación puede variar según la raza, estado fisiológico y nivel de alimentación (Mendoza et al., 2010).

La pérdida de calor corporal por medio del tracto respiratorio y a través de la sudoración, así como el incremento en el consumo de agua y disminución en el consumo de alimento son los principales mecanismos fisiológicos de termorregulación en los ovinos. La FR contribuye a disipar alrededor de un 60% de calor corporal (Marai et al., 2007; McManus et al., 2009, Titto et al., 2016). En condiciones de termoneutralidad, los ovinos mantienen una FR por abajo de 40 rpm, pero en condiciones de EC la tasa respiratoria se incrementa considerablemente (Silanikove, 2000). Los ovinos en condiciones de EC severo suelen sobrepasar 250 rpm (Silanikove, 2000). No obstante, como se señaló en un capítulo anterior, la desventaja de que se

incremente la FR es que se incrementa el uso de energía, ya que el continuo movimiento del tracto respiratorio contribuye al aumento en la producción de calor metabólico, y por consecuencia, a la carga de calor corporal (Cain et al., 2006).

Aunado a la FR y al jadeo, la sudoración es otro mecanismo fisiológico evaporativo de termorregulación que emplean los ovinos para disipar calor, aunque menos efectivo respecto a otras especies como el bovino (McManus et al., 2009). En un estudio realizado en la india, en ovejas de la raza Malpura expuestas a una cámara climática, se observó que como transcurría el tiempo del estudio, el mecanismo de pérdida de calor por sudoración no fue tan efectivo en comparación a la FR (Sejjan et al., 2013). La sudoración es un mecanismo de enfriamiento eficiente, sin embargo, permite grandes pérdidas de electrolitos (Cain et al., 2006), lo cual podría incrementar los requerimientos de minerales.

Cuando los medios evaporativos fallan en mantener las condiciones de homeotermia, los animales hacen uso de otros mecanismos de termorregulación, los cuales comprometen su capacidad productiva y reproductiva (Gaughan et al., 2000; Marai et al., 2010). La reducción en el consumo de alimento y el incremento en el consumo de agua son también mecanismos de termorregulación fisiológicos usados para el enfriamiento y para reducir la producción de calor metabólico (Marai et al., 2007). Este mecanismo ha sido un proceso adaptativo de los ovinos y muchas especies con el fin de evitar la hipertermia, se regula a nivel endocrino por las hormonas tiroxina (T4) y triiodotironina (T3). En general, las hormonas tiroideas se encargan de reducir el metabolismo en respuesta a altas temperaturas ambientales (Bernabucci et al., 2010).

Una forma de reducir la producción de calor metabólico es a través de la reducción de los niveles de las hormonas tiroideas, principalmente T4, la cual controla la actividad metabólica y producción interna de calor (Silanikove, 2000, Bernabucci et al., 2010). El-Sherbiny (1983) ya había descrito que la exposición de ovejas a la radiación solar durante 6 horas en verano y 4 horas en invierno causó reducción en los niveles de T3. En años recientes, otros autores han confirmado que la actividad de la tiroides fue significativamente menor en verano que en invierno (Koluman y Daskiran, 2011). También se han sugerido que la hormona cortisol responde al estrés con el objetivo de proporcionar glucosa en forma inmediata al organismo, pero este mediador

se reduce a niveles basales después de un proceso de adaptación (Cwynar et al., 2014). En general, los ajustes hormonales pueden también incluir alteraciones en las concentraciones de prolactina, GH, glucocorticoides y mineralocorticoides.

Al comparar la capacidad de termorregulación entre razas de ovinos, se ha decrito que las razas de lana generalmente son más al EC. Contrariamente, los ovinos de razas de pelo, los cuales se desarrollaron en condiciones ambientales de trópico, son altamente adaptables a regiones donde prevalecen altas temperaturas y EC (Wildeus, 1997). La naturaleza morfo estructural y fenotípica de los ovinos de pelo en comparación a las ovejas de lana, hace que estas razas tengan más capacidad para disipar el calor corporal (McManus et al., 2011, Berihulay et al., 2019), además la ausencia de lana permite a los ovinos de pelo perder más calor a través de la sudoración y radiación por la piel (McManus et al., 2011). En este sentido, las características propias del pelo (corto y delgado) que distingue a las razas de ovinos como la Pelibuey, Dorper, Katahdin, y Blackbelly es una ventaja para poder transferir mayor cantidad de calor al ambiente a través de la piel, y más eficientemente, ya sea por una redistribución del flujo sanguíneo hacia el tejido periférico, o bien, por la sudoración (Correa et al., 2012). Por otro lado, estrategias como almacenamiento de grasa en regiones específicas (cola, anca, viseras) y que estas puedan ser rápidamente movilizado para la obtención de energía han sido descritas para razas de pelo, y otras razas adaptadas a condiciones áridas (Barihulay et al., 2019).

Además, comparado con los ovinos de lana, los ovinos de pelo tienden a presentar menor FR y TR bajo condiciones de EC (Ross et al., 1985; Tabarez-Rojas et al., 2009; Correa et al., 2012; Romero et al., 2013), lo cual sugiere que las razas de pelo además de usar la FR como mecanismo de termorregulación, realiza otros ajustes fisiológicos o de conducta, tales como pérdidas de calor corporal por medios no evaporativos o reducción de su actividad motora (Macías-Cruz et al., 2018, Vicente-Pérez et al., en prensa). Finalmente, un proceso importante en la capacidad termorregulatoria de los ovinos de pelo es la expresión de algunos genes de termotolerancia, lo que no ocurre en razas de lana (Vicente-Pérez et al., en prensa, Barihulay et al., 2019). Esto puede explicar las diferencias genéticas en la capacidad de tolerancia al EC entre razas de ovinos. En estudios *in vitro*, Romero et al. (2013)

demonstraron mayor viabilidad y menor apoptosis en células de ovinos Pelibuey en relación con células de ovinos Suffolk, lo cual fue relacionado a la expresión de una proteína de choque térmico. Así, la tolerancia al EC a nivel celular responde a cambios en la expresión de genes y adaptaciones bioquímicas en razas adaptadas. En este sentido, la mayor tolerancia al EC en ovinos de pelo comparado con ovinos de lana también se diferenciada a nivel celular.

## **2.4 Estrés calórico en la engorda de ovinos de pelo**

### **2.4.1 Comportamiento productivo**

El potencial de crecimiento y engorda de los animales se expresa al máximo cuando de forma natural, factores genéticos, nutricionales y ambientales, interactúan favorablemente para mantener un equilibrio en las funciones metabólicas del organismo. En regiones áridas, semiáridas y desérticas de México y, de otras regiones del mundo, en épocas de verano las temperaturas ambientales son elevadas, limitando el crecimiento y la engorda en los ovinos de pelo (Macías-Cruz et al., 2018, Vicente-Pérez et al., 2019). En efecto, el ambiente de altas temperaturas promueve condiciones de EC en los animales, lo cual, a su vez, una reducción en el consumo de alimento y activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal, reflejándose también como trastornos en el metabolismo de los alimentos y reducción en el comportamiento productivo (Habeeb et al., 2018). En general, se observa alteraciones en el metabolismo del agua, proteína, energía y, balance de minerales, reacciones enzimáticas, secreción de hormonas y metabolitos sanguíneos (Habeeb et al., 1992).

En condiciones de EC, resulta difícil para los animales mantener el balance corporal de energía, temperatura, agua, hormonas y minerales (Rana et al., 2014). Los requerimientos de agua son mayores por un efecto de deshidratación corporal y las necesidades de energía metabolizable también se incrementan, ambos por la activación de mecanismos de termorregulación (Marai et al., 2007, Renaudeau et al., 2011). El incremento en los requerimientos energéticos para mantenimiento del metabolismo basal combinado con una ingesta reducida de energía por efecto de menor consumo de materia seca, se traduce en menor crecimiento y una baja eficiencia alimenticia (Sejian et al., 2017). En otros casos, se observa un balance energético negativo,

particularmente en razas no adaptadas, haciendo la engorda de estos ovinos incosteable en épocas cálidas del año (Aw-Hassan et al., 2010). Aunque es importante mencionar que, a diferencia de otras especies, los ovinos son menos susceptibles a los efectos del EC, y que la reducción del consumo de alimento no están marcado como pudiera ser en el ganado bovino (Mahjoubi et al., 2014), inclusive el consumo de alimento en el periodo de engorda de los ovinos puede no ser afectada por el EC, lo cual se atribuye a la capacidad que tienen estas pequeñas especies en alcanzar su estabilidad térmica en momentos claves del día, o bien, la falta de efecto puede estar asociado a que el crecimiento o engorda tiene menor exigencia metabólica respecto a otros estados fisiológicos (Bernabucci et al., 2009, Mahjoubi et al., 2014, Macías-Cruz et al., 2018b). Adicionalmente, en la literatura se ha descrito que la digestibilidad del alimento, aparentemente puede verse incrementada en condiciones de EC, esto como consecuencia de una disminución en la tasa de pasaje del alimento y a un mayor tiempo de retención del bolo alimenticio en el tracto gastrointestinal (Rana et al., 2014).

En un estudio se reportó que la engorda de corderas cruzadas Dorper x Pelibuey en condiciones de EC fue considerablemente menos efectiva, por efecto de una reducción en el crecimiento y eficiencia alimenticia, 28 y 20%, respectivamente (Macías-Cruz et al., 2013). Similarmente, al contrastar la engorda de corderos Dorper x Pelibuey en condiciones de EC (Davila-Ramirez et al., 2014) con corderos en condiciones termoneutrales (Macías-Cruz et al., 2013b), los corderos en EC ganaron 50 g diarios menos y consumieron 200 g menos de alimento, sin cambios en la eficiencia alimenticia. El efecto negativo del EC en el comportamiento productivo de corderas y corderos se asoció con un aumento en el gasto energético en el proceso de termorregulación. Como anteriormente se mencionó, condiciones de hipertermia en ovinos conducen a un aumento en los requerimientos nutricionales de mantenimiento, los cuales, dependiendo del grado de EC, pueden estar alrededor del 15% por encima de los normales (NRC, 2007).

Por otro lado, también se reporta que, al activarse el eje del estrés, se da una mayor síntesis y secreción de glucocorticoides, y esta, a la vez, induce mayor producción de somatotropina, hormona que inhibe la liberación de la hormona de crecimiento (Kumar et al., 2012). Otros autores mencionan que el menor crecimiento de

ovinos en condiciones de EC se debe a los niveles bajos de testosterona (Al-Damagh, 2012). Aunque también existen estudios que no coinciden en observar disminución en la concentración de esta hormona por efecto del EC (Rasooli et al., 2010).

Cabe destacar que, el EC reduce el potencial de crecimiento de los ovinos, independientemente de la reducción del consumo de alimento, esto se ha demostrado cuando se compara con los pesos de ovinos que fueron engordados bajo las mismas condiciones de alimentación, pero en ambientes termoneutrales (Mahjoubi et al., 2014; Rana et al. 2014; Liu et al., 2016,). Esto indica que la reducción en el comportamiento productivo en ovinos por efecto del EC se origina por efectos indirectos (reducción en el consumo de materia seca) y efectos directos. Esto coincide con Macías-Cruz et al. (2013), quienes reportan que el consumo de alimento no se ve drásticamente afectado por efecto de la época del año. En este sentido, los efectos en la reducción en el comportamiento productivo que pudieran presentarse en ovinos de pelo, no se debe a un efecto indirecto de reducción de consumo de alimento, sino en todo caso, obedece a efectos directos del EC sobre el crecimiento.

#### **2.4.2 Características de canal**

Los corderos engordados en condiciones ambientales de altas temperaturas se caracterizan por tener un menor crecimiento, peso final, ganancia diaria de peso, cantidad corporal de sólidos totales en respuesta a un menor consumo de alimento (Shelton, 2000). En efecto, un menor consumo de materia seca reduce la disponibilidad de nutrientes, particularmente energía, combustible necesario para el crecimiento y termorregulación de los animales. Para compensar el déficit de energía en escenarios de estrés calórico, los ovinos hacen uso de sus reservas corporales movilizand o energía del tejido graso a través de la lipólisis y reducen la síntesis de proteínas en el tejido muscular (Nardone et al., 2006). De esta forma, el déficit de energía por efecto del EC se solventa con energía de reserva del tejido corporal, lo cual se refleja en menores rendimientos o características de la canal. Así, estudios han reportado disminución en el peso de la canal caliente en ovinos expuestos a condiciones de EC (Liu et al., 2016).

En ovinos de pelo y en razas nativas o adaptadas a regiones cálidas, el EC solo afecta parcialmente las características de la canal (Rana et al., 2014), aun cuando el comportamiento productivo en la engorda haya sido afectado negativamente (Macías-Cruz et al., 2013). En corderos criollos de Bangladesh la exposición a condiciones de EC hasta por 8 horas diarias mostraron similares pesos de la canal y área del ojo de la costilla que un grupo mantenido en condiciones termoneutrales, pero las canales del tratamiento EC tuvieron mayores pérdidas por goteo y por cocción (Rana et al., 2014). En un estudio desarrollado por Macías-Cruz et al. (2013) tampoco encontraron diferencias en el peso de la canal caliente, peso de la canal fría y variables de grasa corporal cuando compararon corderas de pelo engordadas en época de verano y de primavera. Pero, en dicho estudio, el área del ojo de la costilla fue mayor en época de verano que en primavera. Los investigadores atribuyeron dichos resultados al consumo de alimento, sugiriendo que, al no caer drásticamente la ingesta de materia seca, no se afectó el desarrollo muscular. En ganado bovino, las temperaturas ambientales altas cambian la deposición de grasa, menor grasa en musculo o subcutánea y mayor grasa interna (Nardone et al., 2006) esto podría ser una estrategia para favorecer la disipación de calor a través de la piel. Los ovinos de pelo naturalmente se caracterizan por depositar más grasa interna que subcutánea (Barihulay et al., 2019), lo cual puede ser favorable en la disipación de calor por medio de la piel.

### **2.4.3 Cortes primarios**

La venta de carne de cordero en cortes primarios agrega valor a la cadena de producción y beneficia económicamente al productor que lo implementa (Gomes-Gurrola et al., 2017). La edad al sacrificio, raza, sexo, peso al sacrificio, alimentación y otros, son factores que modifican el peso de la canal y el rendimiento de los cortes primarios (Obregón et al., 2006). En relación a la información disponible sobre los efectos del EC en los rendimientos de cortes primarios en ovinos de pelo es escasa. No obstante, si el EC es una condición ambiental que afecta las características de la canal en algunas razas de ovinos (Liu et al., 2016) y puede parcialmente afectar algunas características de la canal en ovinos de pelo (Macías-Cruz et al., 2013), el rendimiento de los cortes primarios también podría verse afectados. Cabe destacar que en

condiciones de altas temperaturas, en el ganado bovino se ha encontrado menor deposición de grasa intramuscular (Nardone et al., 2006), mientras los ovinos de pelo o adaptados a condiciones áridas tienden a depositar grasa interna en lugar de grasa subcutánea o muscular (Barihulay et al., 2019). En este sentido, por efectos de termorregulación en condiciones de estrés crónico, si llegará al límite las reservas de grasa corporal, la respuesta inmediata sería el metabolismo o catabolismo de proteína muscular. En este sentido, las condiciones de EC podrían afectar el rendimiento o peso de los cortes primarios, sin embargo, es necesario realizar estudios para probar estas hipótesis.

#### **2.4.4 Calidad de la Carne**

El EC, además de afectar características de la canal de ovinos, también afecta la calidad de la carne y calidad organoléptica de la misma (Rana et al., 2014, Al-Dawood, 2017). La calidad expresada en el pH, color y textura de la carne de corderos expuestos a condiciones de EC se ve disminuida por efectos directos, cambios fisiológicos o efectos combinados de temperaturas altas con otros factores, como lo mencionan algunos autores en los siguientes tres puntos (Kim et al., 2008, Gregory, 2010; Rana et al., 2014): 1) Los ovinos en condiciones de altas temperaturas ambientales activan el eje del estrés para producir catecolaminas, tales como la adrenalina, la cual se encarga de estimular una vasodilatación periférica y glucogenólisis muscular en un intento de disipar el exceso de calor corporal y obtener combustible energético de la glucosa almacenada, pero si este proceso se mantiene antes del sacrificio, el pH de la carne tiende a incrementar y el color a hacerse más oscura, 2) al ejercitarse los animales en condiciones de hipertermia antes del sacrificio, el efecto combinado de temperatura alta y metabolismo anaerobio promueven un rigor temprano y más fuerte. De este modo se incrementa la probabilidad de obtener carne más dura por efecto del EC, y 3) cuando los animales no consumen cantidades adecuadas de agua, tienden a deshidratarse, lo que afecta la calidad de la carne por hacerla más oscura. Lo anterior ocurre debido a un proceso de compactación de las miofibrillas de la carne, y por tener menos agua tienden a perder menos peso durante la cocción.

Acorde a lo anterior, muchos estudios coinciden en que las condiciones ambientales de temperaturas elevadas indican en que el uso del glucógeno se incrementa, reduciéndose la tasa de producción de ácido láctico en el músculo durante el proceso de rigor mortis (Gebregezibhear y Ameha, 2015). A consecuencia de las alteraciones en los procesos de la glucólisis y producción de ácido láctico, se puede producir carne con pH alto, colores oscuros, y menor ternura (Kadim et al., 2007, Liu et al., 2016). Un pH alto en la carne se asocia con una mayor capacidad de retención de agua, menor fuerza de corte y color oscuro en la carne (Grandin, 1996). Kadim et al. (2007) reportó un pH en la carne de 5.77 en estación cálida, mientras en época fresca fue de 5.6 en ovinos Somali y Merino. El pH al sacrificio (40 minutos post-mortem) es alto (6.82 vs. 6.65) en animales engordados en estaciones cálidas respecto a las condiciones frescas, el pH post-mortem desciende a una tasa más lenta y, aunque después de 3 h post-mortem la caída de pH tiende a ser similar al grupo testigo, el pH (5.78 vs 5.65 unidades) de la carne a las 24 h es mayor por efecto del EC (Kadim et al., 2008). Además, el índice de fragmentación miofibrilar es más elevado en condiciones de clima cálido que en clima fresco, lo cual se relaciona con la menor tasa de reducción del pH de la carne (Kadim et al., 2008). En cuanto a la tendencia de una coloración oscura en la carne, se ha descrito que se debe a un efecto de oxidación de mioglobinas y a un mayor consumo de oxígeno (mayor respiración mitocondrial) cuando existen condiciones de pH elevado, lo cual disminuye la oxigenación en la carne haciéndola más oscura (Ashmore et al., 1972, Lawrie, 1985).

En ovinos criollos, el EC por un periodo de 8 horas diarias no tiene efecto en el pH en la carne (Rana et al., 2014). Cabe destacar que distintos factores como genética, sexo, edad, densidad energética dietaria, tiempo de alimentación, estrés al sacrificio, peso de la canal, pueden estar asociados al color de la carne (Hunt y King, 2012). Asimismo, la transportación puede producir afectaciones en el pH y ternura de la carne (Miranda-de la lama et al., 2011). En este sentido, otros muchos factores de tipo ambiental y de manejo, en combinación con el EC, pueden afectar la calidad de la carne en los ovinos.

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de estudio y aprobación de procedimientos**

Todos los procedimientos experimentales aplicados a los corderos se realizaron considerando las Normas Oficiales Mexicanas: NOM-062-ZOO-1999 (norma específica para la producción, cuidado y el uso de animales de laboratorio), NOM-051-ZOO-1995 (norma específica para el tratamiento humanitario en la movilización de animales), y NOM-033-ZOO-1995 (norma específica para el sacrificio de animales domésticos y salvajes).

La fase experimental del presente estudio se llevó a cabo en la Unidad Experimental de Ovinos y en el Laboratorio de Carne, ambos pertenecientes al Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, el cual se ubica en el Valle de Mexicali, al noroeste de México (32° 24' N y 115° 11' O). El clima en la región es seco y árido, con una época inestable de lluvias en diciembre y enero (promedio anual de 85 mm). Las temperaturas extremas registradas en la a través del año son >40°C durante el verano y ~0°C durante el invierno, respectivamente (INEGI, 2017).

#### **3.2. Animales, tratamiento y manejo**

Se utilizaron 20 corderos Dorper x Katahdin (PV promedio = 33.9 ± 0.4 kg y edad= 4.5 meses), los cuales fueron alojados en corrales individuales para realizar el estudio. De tal manera que 10 corderos en verano (29 de agosto a 27 de septiembre del 2017) y 10 en invierno (6 de marzo a 4 de abril del 2018) fueron sometidos a un período de adaptación a la dieta proporcionado durante la evaluación e instalaciones durante un periodo de 15 días. Los tratamientos fueron considerados como épocas invierno vs verano con una duración de 30 días en cada época. En ambas épocas, los corderos se trataron de forma similar con respecto a manejo, alimentación, instalaciones y medición de las variables de estudio.

Las corraletas individuales (70 cm x 120 cm) contaban con dos cubetas colocadas al frente, una para alimento y la otra para el agua. Además, todas las

corraletas se ubicaron bajo un área sombreada con lámina galvanizada (3.5 × 25.0 m), la cual se encontraba a una altura de 2.5 m con respecto al suelo. El primer día del período de adaptación, los corderos se trataron con vitaminas A-D-E (Vigantol; Bayer, Ciudad de México, México; 1.5 mL / cordero) y contra parásitos internos y externos (Ivermectina; Laboratorio Sanfer, Ciudad de México, México; 0.5 mL / cordero); asimismo, se adaptaron a las corraletas y a la dieta base experimental. La dieta base se formuló cubriendo los requisitos nutricionales para corderos de engorda en fase de finalización (proteína cruda = 16 % y energía metabolizable [EM] = 2.8 Mcal / kg de materia seca [MS]; NRC, 2007). Semanalmente, se recolectaron muestras de alimento para ser secadas en una estufa de aire forzado a 60 °C durante 24 h. Al final de cada periodo experimental, todas las muestras colectadas se molieron usando una criba de 2 mm (Wiley mill modelo 4; Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, EE. UU.), y posteriormente se mezclaron para extraer dos submuestras que fueron utilizadas para los análisis bromatológicos (AOAC, 1990) y la determinación de fibras (Van Soest et al., 1991). Adicionalmente, se calcularon las energías dietarias (es decir, energía metabolizable, energía neta de mantenimiento y energía de ganancia) usando las fórmulas propuestas por el NRC (1985). En el Cuadro 1 se muestran los ingredientes y la composición química de la dieta experimental.

**Cuadro 1.** Ingredientes y composición química de la dieta proporcionada en épocas de estudio.

<b>Ingredientes</b>	<b>%</b>	<b>Composición química</b>	<b>%</b>
Paja de trigo	15	Materia seca parcial	91.0
Heno de alfalfa	15	Materia orgánica	83.1
Grano de trigo molido	57	Proteína cruda	15.8
Soya	11	Extracto de éter	3.2
Premix (minerales-vitaminas)	0.5	Fibra detergente neutro	30.6
Piedra caliza	0.5	Fibra detergente ácido	19.0
Fosfato dicálcico	0.5	<b>Energías (base materia seca)</b>	<b>Mcal/kg</b>
Sal común	0.5	Energía metabolizable	2.90
		Energía neta de mantenimiento	1.90
		Energía neta de ganancia	1.30

Tanto la dieta como el agua se ofrecieron *ad libitum* durante todo el período experimental en cada época. El alimento se suministró dos veces al día (0700 y 1900 h) considerando una tasa de rechazo del 10% con respecto al día anterior. El estado de salud de los corderos fue monitoreado continuamente en forma visual. Ningún animal mostró signos de enfermedad durante el estudio.

### **3.3. Colección de datos en ambas épocas**

#### **3.3.1. Condiciones climáticas**

Se colectaron datos de temperatura ( $T_a$ ), humedad relativa (HR) y velocidad del viento (VV) a partir de una estación meteorológica (Davis Instruments, CA, USA) ubicada cerca del sitio de estudio. La estación se programó para registrar la información climática cada 15 min durante los 30 días que duró el periodo experimental en cada época. Con esta información se calculó el índice de temperatura-humedad (ITH) aplicando la siguiente fórmula:  $ITH = T_a - [(0.31 - 0.31 * HR) * (T_e - 14.4)]$  (Marai et al., 2007).

#### **3.3.2. Variables fisiológicas**

A cada cordero se le midió la TR y la FR a las 0600, 1200 y 1800 h en los días de muestreo de cada época (10 d de muestreo a intervalos de 3 d cada uno). La FR se midió contando el número de movimientos intercostales durante 30 s, y luego esta cantidad se multiplicó por 2 para obtener el número de respiraciones por minuto (rpm). La TR se midió introduciendo en el recto un termómetro digital (DeltaTrack, Pleasanton, CA, USA) durante un minuto.

#### **3.3.3. Comportamiento productivo**

La prueba de comportamiento en corral se registró peso inicial (d 1) y final (d 31) antes de la alimentación de la mañana. Diariamente, se registró el peso del alimento ofrecido y rechazado con el fin de obtener el consumo diario de alimento. Adicionalmente, se calculó la ganancia diaria y total de peso, así como la eficiencia alimenticia.



### 3.3.4. Características de la canal y rendimiento de cortes primarios

Finalizada las pruebas de comportamiento en corral en cada época, todos los corderos se sacrificaron en el Laboratorio de Carne después de un período de ayuno de 12 h. Los corderos fueron colgados en el riel y sacrificados por el método de degüelle para colectar la sangre y registrar su peso. Inmediatamente después, los cuerpos fueron eviscerados para registrar el PCC, así como los pesos de los despojos tales como: piel, cabeza, patas, corazón, hígado, pulmones, riñones, tracto gastrointestinal lleno y vacío, complejo estomacal vacío, intestino vacío, bazo y algunos tipos grasa (renal [KPH], omental y mesentérico). Posteriormente, las canales se enfriaron a 4°C durante 24 h para registrar peso de carnal fría (PCF), conformación (escala de 8 puntos; Smith et al., 2001), medidas morfométricas (longitud de la canal, profundidad del tórax, y longitud y perímetro de pierna; Parés-Casanova, 2013), espesor de la grasa dorsal y área del músculo *Longissimus thoracis* (MLT).

Las canales se cortaron entre la 12va y 13va costilla para calcar en acetato el perímetro del MLT y medir el espesor de grasa dorsal con una regleta. El acetato fue recortado siguiendo el perímetro del MLT y luego se colocó en un equipo de medición de área foliar con el fin de obtener la medición del área del MLT. Además, las canales se cortaron a través de la línea media dorsal para diseccionar de la media canal derecha los cortes primarios de acuerdo a la metodología propuesta por Avendaño-Reyes et al. (2011). Se registraron los pesos de media canal derecha, así como de los siguientes cortes primarios: cuarto delantero, cuarto trasero, cuello, paleta, costillar, lomo largo, lomo plano, pierna y faldilla.

Usando la información de los pesos del tracto gastrointestinal lleno y vacío, se calculó el peso vivo vacío (PVV = peso al sacrificio – contenido gastrointestinal). Los pesos de todos los órganos, vísceras y despojos fueron expresados como un porcentaje del PVV. El PCC y PCF también se expresaron como un porcentaje del PVV para obtener las variables de rendimiento en canal caliente y en canal fría. Finalmente, el rendimiento de cada corte primario se calculó expresando el peso de cada corte como un porcentaje del peso de la media canal derecha.

### **3.3.5. Calidad de la carne**

Las variables de calidad de la carne evaluadas fueron pH *post-mortem* (45 min, 24 h y 14 d), color (L, a, b, C y H) y fuerza de corte. El pH a 45 min y 24 h se midieron introduciendo entre la 12va y 13va costillas un electrodo de penetración conectado a un medidor de pH (Hanna Instruments, modelo HI 98140, Woonsocket, RI, USA). Luego, se diseccionó el MLT a partir de corte primario lomo largo (entre la 4ta y 12va costilla), el cual se envasó al vacío y se refrigeró entre 1 y 4 °C hasta los 14 días *post-mortem* para medir pH a 14 días, parámetros de color y fuerza de corte.

Una muestra de 5 g de músculo se licuó con 25 mL de agua destilada para determinar el pH por triplicado con un medidor de pH provisto de un electrodo de vidrio (modelo HI-2210, Hanna Instruments Digital, Woonsocket, RI). Para las variables de color, la carne se reposó durante 30 min y seguido de esto se midió el color colocando en la superficie un colorímetro con iluminador D65 y observador 10° (modelo CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japón). Se midió luminosidad (L\*), enrojecimiento (a\*), amarillez (b\*), índice de saturación de color (Chroma, C\*) y ángulo Hue de color (H\*). El colorímetro se colocó en cinco sitios diferentes de cada muestra y se obtuvieron valores promedios para cada color por muestra. Finalmente, se cocinaron dos filetes por muestra hasta alcanzar una temperatura interna de 71 °C usando una parrilla eléctrica (Cook Master Oster, modelo 3222-3, Mississauga, Ontario, Canadá). Posteriormente, los filetes se enfriaron a temperatura ambiente (25-30°C) y se cortaron para obtener cinco cubos de 2.54 cm de espesor, los cuales se cortaron perpendicularmente a la dirección de las fibras musculares utilizando un equipo de fuerza de corte Warner-Bratzler (Salter 235, Manhattan, KS, USA). Se promediaron tres valores de fuerza de corte para obtener el valor promedio por muestra como medición.

### **3.4. Análisis estadístico**

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS (SAS, 2004). Las variables climáticas se analizaron usando el PROC MEANS para obtener los estadísticos descriptivos por época. Los datos del comportamiento productivo, características de canal, despojos del cuerpo, rendimientos de cortes primarios y

calidad de la carne se sometieron a análisis de varianza bajo un diseño bloques completamente al azar (DCA) usando PROC MIXE.D. Se incluyó el peso vivo inicial en todos los modelos como una covariable. En el caso de las variables fisiológicas, el análisis de varianza se realizó bajo un DCA con medidas repetidas en el tiempo, donde el modelo consideró los efectos de la covariable (peso inicial), y los siguientes efectos fijos: época, tiempo (hora del día) y la interacción época x tiempo. Se probaron varias estructuras de covarianza y, de acuerdo con los criterios bayesianos de Akaike y Schwarz, la mejor estructura para ajustar al modelo fue la autorregresiva (AR1; Littell, Henry y Ammerman, 1998). Las medias se compararon usando la opción LSMEAN / PDIFF declarando diferencias a  $P \leq 0.05$  y tendencias a  $0.05 > P \leq 0.10$ .

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas que prevalecieron durante las épocas experimentales de invierno y verano se muestran en la Cuadro 2. Los valores promedio para Ta, HR e ITH en invierno fueron 19.2 °C, 41.7 % y 18.3 unidades, respectivamente, mientras que en verano fueron 28.4 °C, 55.2 % y 26.4 unidades, respectivamente. En invierno, la Ta osciló entre 11 y 27 °C, predominando un Ta por encima de los 15 °C en las 24 h del día. En verano, la diferencia entre la Ta mínima y máxima fue de 15 °C (21 a 36 °C), y la Ta  $\geq 30^{\circ}\text{C}$  se observó principalmente durante las horas de sol. La velocidad del viento promedio fue similar en ambas épocas (1.5 m/s).

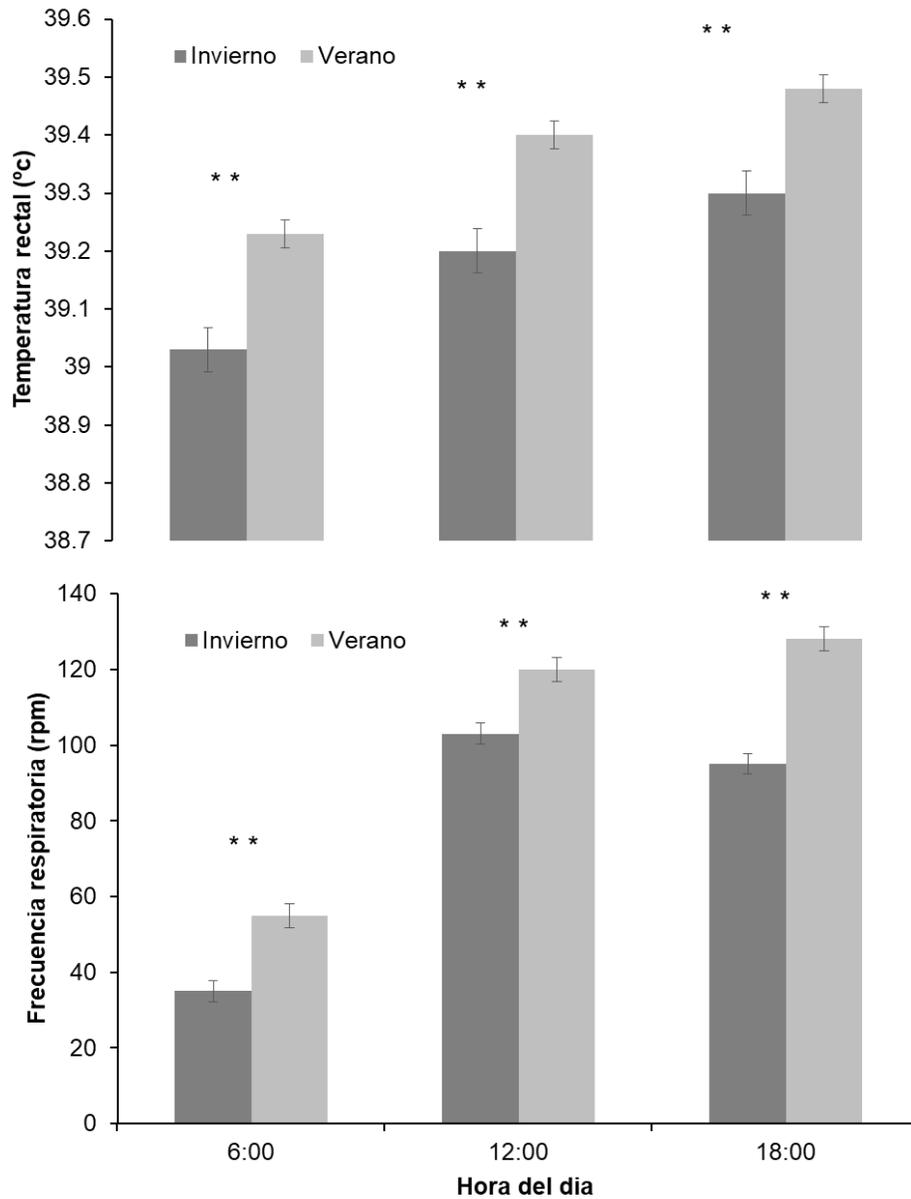
**Cuadro 2.** Estadísticos descriptivos de las variables climáticas registradas durante ambas épocas experimentales.

VARIABLES	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	ITH <sup>a</sup> (unidades)	Velocidad del viento (m/s)
Invierno				
Promedio	19.2 ± 2.6	41.7 ± 11.0	18.3 ± 1.6	1.5 ± 0.8
Mínimo	11.0 ± 3.1	20.3 ± 8.6	11.8 ± 1.5	0.1 ± 0.1
Máximo	27.0 ± 3.6	68.5 ± 15.5	25.7 ± 2.0	3.6 ± 1.6
Verano				
Promedio	28.4 ± 4.0	55.2 ± 18.2	26.4 ± 1.8	1.5 ± 0.6
Mínimo	21.0 ± 4.5	30.1 ± 16.1	19.6 ± 1.9	0.2 ± 0.4
Máximo	35.7 ± 4.3	82.8 ± 18.6	34.6 ± 1.6	3.4 ± 1.2

<sup>a</sup> ITH= Índice de temperatura-humedad

## 4.2. Variables fisiológicas

Los resultados de TR y FR por efecto de la época del año se muestran en la Figura 1. Los corderos de verano mostraron mayor ( $P < 0.01$ ) TR y FR a las 6, 12 y 18 h que los corderos en invierno.



**Figura 1.** Variación circadiana de temperatura rectal y frecuencia respiratoria en corderos en las dos épocas del año en una región árida (\*\*  $P < 0.01$ ).

### 4.3. Comportamiento productivo

Los resultados de comportamiento productivo se muestran en el Cuadro 3. Los corderos en invierno tuvieron mayor ( $P \leq 0.02$ ) peso final, ganancia diaria de peso, ganancia de peso total y eficiencia alimenticia que en los corderos de verano. El consumo de alimento no fue afectado ( $P = 0.71$ ) por la época.

**Cuadro 3.** Comportamiento productivo de corderos de raza de pelo en ambas épocas experimentales.

Variables	Época		E.E	Valor de P
	Invierno	Verano		
Peso inicial (kg)	33.93	33.94	0.45	0.99
Peso final (kg)	43.01	40.73	0.59	0.02
Ganancia de peso total (kg)	9.07	6.79	0.44	<0.01
Ganancia de peso diario(g)	302	226	15	<0.01
Consumo de alimento (kg)	1.64	1.67	0.06	0.71
Eficiencia alimenticia (g/kg)	186	137	7.60	<0.01

### 4.4. Características de la canal

Los resultados de características de la canal y deposición de grasa corporal por efecto de la época se muestran en el Cuadro 4. En comparación con los corderos de invierno, los corderos de verano tuvieron 2.7 % más ( $P=0.03$ ) rendimiento de canal caliente y 6.6 % menos PCF, pero sin ninguna diferencia ( $P \geq 0.26$ ) en PCC y rendimiento de canal fría. Otras características de la canal (conformación, área del MLD y mediciones morfométricas) no se afectaron ( $P \geq 0.11$ ) con la época. En la deposición de grasa corporal, solamente las grasas KPH y omentales variaron ( $P \leq 0.03$ ) con la época, siendo la grasa KPH 46% mayor y la grasa omental 31% menor en corderos de verano que sus contrapartes.

**Cuadro 4.** Características de la canal y deposición de grasa corporal en corderos de raza de pelo en ambas épocas experimental.

Variables	Época		E.E.	Valor de P
	Invierno	Verano		
Peso vivo vacío (kg)	37.70	35.64	0.69	0.06
Peso de canal caliente (kg)	19.79	19.17	0.37	0.26
Peso de canal fría (kg)	19.16	17.90	0.38	0.04
Rendimiento en canal caliente (%)	52.44	53.86	0.4	0.03
Rendimiento en canal fría (%)	50.76	50.18	0.41	0.35
Conformación (escala 1-8)	6.85	6.95	0.27	0.80
Área del MLT (cm <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	13.28	12.02	0.59	0.16
Largo de la canal (cm)	57.90	56.50	0.75	0.22
Profundidad del tórax (cm)	16.82	15.80	0.40	0.11
Diámetro de la pierna (cm)	41.98	43.35	0.84	0.25
Largo de la pierna (cm)	37.80	30.40	1.12	0.21
Grasa KPH (%) <sup>b</sup>	1.04	1.52	0.14	0.03
Grasa omental (%)	2.40	1.66	0.12	<0.01
Grasa mesentérica (%)	1.59	1.67	0.16	0.73
Espesor de grasa dorsal (mm)	2.00	1.70	0.26	0.43

<sup>a</sup> Área del musculo *Longissimus thoracis* (MLT).

<sup>b</sup> Grasa renal (KPH).

#### 4.5. Despojos del canal

Los resultados de los pesos de despojos de la canal (expresados como % del PVV) se muestran en el Cuadro 5. Los porcentajes de peso de patas, riñones y pulmones fueron mayores ( $P \leq 0.05$ ) para los corderos de verano que para los de invierno. Además, los corderos de verano tendieron a tener un menor porcentaje de cabeza ( $P = 0.09$ ) y bazo ( $P = 0.06$ ), así como un mayor porcentaje de testículo ( $P = 0.07$ ) con respecto a los corderos de invierno. Sin embargo, los porcentajes de sangre,

piel, corazón, hígado, complejo estomacal e intestinos fueron similares ( $P \leq 0.19$ ) entre los corderos de invierno y verano.

**Cuadro 5.** Porcentajes de cada despojo de la canal en corderos de pelo en épocas experimentales.

Variables <sup>a</sup>	Época		E.E.	Valor de P
	Invierno	Verano		
Sangre (%)	5.29	5.31	0.16	0.91
Cabeza (%)	6.13	5.84	0.11	0.09
Patatas (%)	2.43	2.61	0.05	0.04
Testículos (%)	1.53	1.97	0.15	0.07
Piel (%)	10.14	10.51	0.28	0.38
Pulmones (%)	1.40	1.87	0.06	<0.01
Hígado (%)	2.45	2.65	0.10	0.19
Riñones (%)	0.31	0.35	0.01	0.05
Bazo (%)	0.63	0.49	0.05	0.06
Corazón (%)	0.82	0.51	0.25	0.43
Complejo estomacal (%)	3.46	3.70	0.13	0.20
Intestinos (%)	3.25	3.52	0.14	0.20

<sup>a</sup> Pesos expresados como porcentaje del peso vacío.

#### 4.6. Rendimiento de cortes primarios

Los resultados de los rendimientos de cortes se muestran en el Cuadro 6. Solo los rendimientos de cuello, lomo y paleta fueron afectados ( $P \leq 0.05$ ) por la época. En comparación con los corderos en invierno, los corderos en verano tuvieron mayores rendimientos de cuello (31.7%) y paleta (6.1%), mientras que el rendimiento de lomo fue menor (15.3%).

**Cuadro 6.** Rendimientos de cortes primarios de corderos de raza de pelo de ambas épocas experimentales.

Variables <sup>a</sup>	Época		E.E.	Valor de P
	Invierno	Verano		
Cuarto delantero (%)	53.12	53.71	0.48	0.41
Cuarto trasero (%)	46.88	46.29	0.48	0.41
Cuello (%)	4.25	5.60	0.16	<0.01
Lomo (%)	9.79	8.29	0.31	<0.01
Paleta (%)	28.53	30.25	0.53	0.05
Costilla (%)	10.54	9.55	0.66	0.32
Lomo plano (%)	9.81	8.29	0.31	<0.01
Pierna (%)	28.86	27.92	0.54	0.25
Faldilla (%)	6.12	6.95	0.59	0.34

<sup>a</sup> Pesos expresados como porcentaje de la media canal.

#### 4.7. Calidad de la carne

El Cuadro 7 muestra los resultados de la calidad de la carne por efecto de la época. Todas las variables de calidad se vieron afectadas ( $P < 0.01$ ) por la época. En comparación con el invierno, el pH de la carne post-mortem fue menor a los 45 min y 14 d, pero mayor a las 24 h en la carne de corderos de verano. Las variables de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  y  $H^*$  tuvieron valores mayores ( $P < 0.01$ ) en carne de corderos de verano que en carne de corderos de invierno. La fuerza de corte fue 45.7 % mayor ( $P < 0.01$ ) en carne de corderos de verano que en carne de corderos de invierno.

**Cuadro 7.** Calidad de la carne de corderos de pelo en ambas épocas experimentales.

Variables	Época		E.E.	Valor de P
	Invierno	Verano		
<i>pH postmortem</i>				
45 min	6.51	6.24	0.03	0.01
24 h	5.56	5.81	0.03	<0.01
14 d	5.70	5.53	0.02	<0.01
Color				
L* <sup>a</sup>	36.95	42.58	1.10	<0.01
a* <sup>b</sup>	16.35	19.05	0.36	<0.01
b* <sup>c</sup>	4.17	6.29	0.27	<0.01
C* <sup>d</sup>	16.87	20.06	0.45	<0.01
H* <sup>e</sup>	24.97	31.90	1.07	<0.01
Fuerza de corte (N)	21.0	30.6	2.1	0.01

<sup>a</sup>L\* =Luminosidad, <sup>b</sup>a\* =Rojo, <sup>c</sup>b\* =Amarillo, <sup>d</sup>C\* =Cromo, <sup>e</sup>H\* =Angulo Hue

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. Condiciones climáticas

Las ovejas de pelo experimentan signos de EC a  $T_a \geq 30$  °C (Vicente-Pérez et al., en prensa) e  $ITH \geq 22.2$  unidades (Marai et al., 2007). De acuerdo con la clasificación de ITH, el ambiente puede promover EC moderado (22.2 a  $<23.3$  unidades), severo (23.3 a  $<25.6$  unidades) y extremadamente severo ( $\geq 25.6$  unidades) en ovejas (Marai et al., 2007). Por lo tanto, los corderos de engorda utilizados en el presente estudio estuvieron sometidos a EC durante la mayor parte del día durante la fase experimental de verano, y el EC que predominó fue extremadamente severo ( $ITH = 26.4$  unidades). Cabe resaltar que la  $T_a$  en verano disminuyó en horas de la madrugada y esto pudo ser útil para disminuir la carga de calor corporal adquirida durante el día, tal como sugiere Macías-Cruz et al. (2016a). En invierno, la  $T_a$  no excedió los 30 °C a través del día, por lo que se confirma que el ambiente no fue de EC para los corderos de estudio; por el contrario, el ambiente era frío durante las horas de la madrugada por lo que las ovejas pudieron haber experimentado un poco de estrés por frío. A pesar de esto, el ambiente de invierno que prevaleció durante la prueba de alimentación fue mayormente termoneutral.

### 5.2. Variables fisiológicas

Los corderos respondieron al estrés térmico de verano aumentando su TR y FR a través de las horas del día. Este es un mecanismo fisiológico de termorregulación ampliamente utilizado por las ovejas de pelo para mantener la homeotermia en climas cálidos, y generalmente estas variables siguen un ritmo circadiano similar al de la  $T_a$  (Al-Dawood, 2017; Vicente-Pérez et al., en prensa). De hecho, las ovejas de pelo estresadas por calor pueden perder entre 60 y 90% de su carga de calor corporal al aumentar la FR (Fonseca et al., 2017). Se han reportado resultados similares en estudios previos realizados en la misma región árida cuando se compararon las respuestas fisiológicas de corderas del genotipo de pelo en condiciones ambientales de verano *versus* primavera (Macías-Cruz et al., 2016a) u otoño (Macías-Cruz et al., 2016b).

### 5.3. Comportamiento productivo

La reducción en el consumo de materia seca es otro mecanismo de termorregulación observado en corderos jóvenes estresados por calor; esto para disminuir la producción de calor fermentativo a nivel del rumen y, en consecuencia, la carga de calor corporal generada de manera endógena (Marai et al., 2007). Sin embargo, el crecimiento y la eficiencia alimenticia también disminuyen con la baja en la ingesta de alimento en corderos de engorda expuestos a temperaturas elevadas (Al-Dawood, 2017). Esto se debe a que los ovinos estresados por el calor aumentan sus necesidades de mantenimiento al mismo tiempo que baja el consumo de nutrientes dietarios. En un esfuerzo por aumentar la disponibilidad de los nutrientes requeridos, los ovinos reducen su actividad anabólica y aumentan el catabolismo del tejido graso y muscular (Sejian et al., 2018). A pesar de esto, los resultados muestran que el EC de verano en corderos de raza de pelo redujo la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia sin afectar el consumo de alimento. Estos hallazgos sugieren que, aunque la ingesta de alimento sigue siendo normal, una mayor cantidad de nutrientes en la dieta está dirigida a cubrir el aumento en los requisitos de mantenimiento, evitando el catabolismo de los tejidos y las pérdidas de peso corporal. Además, también sugiere que la distribución de nutrientes dietarios para crecimiento del cordero es baja en verano, lo que explica el lento crecimiento observado en respuesta al EC. Por lo tanto, esto demuestra que el crecimiento de corderos de razas adaptadas a EC no es afectado directamente por el EC, tal como lo señalaron Mahjoubi et al. (2014) en un estudio con corderos Afshari en crecimiento. En congruencia con los resultados de comportamiento productivo, otros estudios realizados en corderos Dorper × Pelibuey (Macías-Cruz et al., 2013) y Afshari (Mahjoubi et al., 2014) informaron una reducción en el peso final, GDP y la eficiencia alimenticia sin ningún cambio en el consumo de alimento debido al efecto EC.

Cabe mencionar que hay otros estudios que indican una disminución en tasa de crecimiento y eficiencia alimenticia debido a una baja ingesta de alimento en corderos estresados por el calor (Bernabucci et al., 2009; Marai et al., 2007; Dixon et al., 1999). En dichos estudios, las razas ovinas utilizadas no estaban adaptadas a las regiones

cálidas. Por lo tanto, la falta de efecto del EC en el consumo de alimento en el presente estudio, podría deberse a la alta adaptación que tienen los ovinos de raza de pelo a Ta elevada, así como a la variación circadiana de la Ta registrada en verano. Una Ta por debajo de 30 °C en las noches mejora el confort térmico de los corderos y, en consecuencia, el consumo de alimento (Silanikove, 2000).

#### **5.4. Características de la canal**

La información publicada sobre las características de la canal de corderos de razas de pelo estresados por calor es escasa. Utilizando corderas de raza de pelo, Macías-Cruz et al. (2013) reportaron que EC de verano aumentó el rendimiento en canal y el área del MLT sin afectar PCC, PCF, grasa KPH o espesor de la grasa dorsal. Otra investigación en la que se utilizaron corderos destetados de raza indígena adaptados a temperaturas altas, indicó que el EC no afectó el peso de canal y costillares, pero disminuyó el rendimiento en canal fría (Rana et al., 2014). Recientemente, en corderos de raza no adaptada, Kett (2018) informó menor PCC y área del MLT, sin efecto en la grasa dorsal, debido al ambiente de EC. Nuestros resultados sobre las características de la canal coinciden principalmente con los reportados para las razas de ovejas adaptadas. Un mayor rendimiento de canal caliente en los corderos de verano podría explicarse como una mejor eficiencia para aprovechar los nutrientes dietarios para la síntesis de proteínas musculares. Esto es evidente teniendo en cuenta que los corderos de verano alcanzaron un PCC similar al observado en canales de corderos de invierno, a pesar de tener un menor aumento de peso vivo y disponibilidad de nutrientes dietarios para el crecimiento. Por otro lado, los resultados de PCF sugieren que el ambiente caliente de verano afectó negativamente la capacidad de retención de agua de canal durante el enfriamiento *post-mortem*, y la presencia de este problema se identifica como causa de pérdidas económicas en la industria ovina. La pérdida de agua por enfriamiento se asocia a una caída inadecuada del pH en las primeras 24 h *post-mortem*, lo cual causa una disminución en la cantidad de grupos iónico libre que se unen al agua, así como un aumento en la desnaturalización de proteínas (Bellés et al., 2017).

Cabe resaltar que los sitios de deposición de grasa interna cambiaron con las condiciones de EC, ya que los corderos de verano depositaron mayor grasa de KPH y menor grasa omental. Esto podría ser parte de un mecanismo de termorregulación de los ovinos de pelo, como estudios previos en cerdos sometidos a EC han demostrado cambios en la distribución de grasa para aumentar las pérdidas de calor corporal (Kouba et al., 2001). Así, los corderos de verano disminuyeron la grasa omental para disipar más rápidamente el calor endógeno generado por la fermentación ruminal, mientras que el aumento de la grasa KPH podría ser una estrategia adaptativa desarrollada por estos corderos para tener una fuente de energía de rápida disponibilidad de ser necesario (Chay-Canul et al., 2011). El tejido adiposo depositado en la cavidad pélvica y alrededor del corazón y los riñones está altamente vascularizado, por lo que su movilización es relativamente fácil en escenarios de déficit nutricional (Chay-Canul et al., 2016).

### **5.5. Despojos y rendimiento de cortes primarios**

El EC de verano modificó el crecimiento de algunos tejidos musculares (basados en el rendimiento de cortes) y despojos. Esto puede ser el resultado de cambios en la redistribución del flujo sanguíneo hacia los tejidos corporales con funciones de termorregulación. En este sentido, los tejidos que reciben más flujo sanguíneo tendrán más nutrientes disponibles para un mejor crecimiento (Macías-Cruz et al., 2010). Los ovinos de raza de pelo bajo EC redistribuyen gran cantidad de sangre hacia las extremidades del cuerpo, testículos, orejas y pulmones, ya que la mayor parte del exceso de carga de calor se disipa a través de piel y vías respiratorias (Fonseca et al., 2017; Sejian et al., 2017). Por lo tanto, esto explica porque EC promovió mayor rendimiento de paleta y cuello, así como pesos de patas, testículos, riñones y pulmones, al mismo tiempo que disminuyó rendimiento de lomo, y pesos de cabeza y bazo. No se encontró ningún estudio previo que evaluara los efectos del EC sobre los rendimientos de corte primarios en ovinos, pero sí en el peso de órganos y despojos corporales en corderos (Rana et al., 2014) y cabras (Hashem et al., 2013) adaptados a regiones cálidas. Los resultados de esos estudios concuerdan con los del presente estudio.

## 5.6. Calidad de la carne

Se han evidenciado efectos del EC sobre la calidad de la carne tanto en ovino y ganado de carne, y en general, los resultados indican efectos negativos, ya que la carne tiende a ser más oscura, seca y dura (Gregory, 2010; Al-Dawood, 2017; Sejian et al., 2017). Un pH final *post-mortem* alto es el principal responsable de la baja calidad de la carne en corderos estresados por el calor, el cual se alcanza con el aumento tanto de glucogenólisis muscular y metabolismo anaeróbico durante el período de engorda en ambientes calientes (Gregory, 2010). En contra de lo esperado, nuestros resultados muestran que el EC de verano no deterioró la calidad de la carne de los corderos de raza de pelo. Si bien es cierto, el ambiente cálido de verano modificó todos los parámetros de calidad de carne, los valores promedios de esos parámetros se mantuvieron dentro de los rangos de referencia en ambas épocas (por ejemplo, pH a 45 min > 6.0, pH final = 5.5 - 5.8, y fuerza de corte <49 N) (Sañudo et al., 1998; Hopkins et al., 2006).

Esta falta de efecto del EC en la calidad de la carne podría ser un reflejo de la alta adaptabilidad que tienen los ovinos de pelo a las condiciones de EC. Se sabe que los ovinos de raza de pelo liberan menos cortisol y adrenalina que las razas no adaptadas en respuesta al EC (Sejian et al., 2017). Ambas hormonas se asocian positivamente con alteraciones metabólicas que conducen a disminuir el contenido de glucógeno muscular posterior al sacrificio y, en consecuencia, los niveles de producción de ácido láctico no son suficientes para disminuir el pH final por debajo de 6.0 (Xing et al., 2019). Por lo tanto, los corderos de pelo estresados por calor pudieron mantener la calidad de la carne porque las cantidades de cortisol y adrenalina liberadas en respuesta al EC no fueron suficientes para promover la metabolización de la mayoría del glucógeno muscular antes del sacrificio. La variabilidad en la incidencia de carne oscura en ovinos de razas diferentes o similares, se ha atribuido a diferencias en la susceptibilidad al estrés (Ponnampalam et al., 2017).

## **6. CONCLUSIÓN**

El ambiente cálido de verano de las regiones áridas afectó negativamente el crecimiento y la eficiencia alimenticia sin modificar el consumo de alimento en corderos de raza de pelo finalizados en corral. A pesar de esto, las altas temperaturas ambientales de verano ayudaron a mejorar el rendimiento en canal sin afectar el peso de canal caliente o la calidad de la carne en forma detrimental. Finalmente, el EC de verano modificó los sitios de depósito de grasa, así como el crecimiento de algunos cortes primarios, órganos y vísceras, lo que parece estar relacionado con una mejor capacidad de termorregulación en corderos de pelo.

## 8. LITERATURA CITADA

1. Abdel-Hafez, M. A. M. (2002). Studies on the reproductive performance in sheep. PhD thesis. *Zagazig University*.
2. Al-Damegh, M. (2012). Sheep breed type effects on plasma thyrotropin, thyroxine and testosterone in growing ram lambs under hot climate. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(1), 530-533.
3. Al-Dawood, A. (2017). Towards heat stress management in small ruminants—a review. *Annals of Animal Science*, 17(1), 59-88.
4. AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis: Changes in Official Methods of Analysis Made at the Annual Meeting*. Recuperado el 7 de abril del 2019, de [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Officialmethodsofanalysis&author=AOAC&publication\\_year=1990](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Officialmethodsofanalysis&author=AOAC&publication_year=1990)
5. Arroyo, J., Sánchez-Hernández, N. J., Ávila-Serrano, N. Y., Camacho-Escobar, M. A., & Rodríguez-De-La-Torre, M. (2016). Reproductive seasonality in creole hair sheep in the tropic. *Tropical Animal Health and Production*, 48(1), 219-222.
6. Ashmore, C. R., Parker, W., & Doerr, L. (1972). Respiration of mitochondria isolated from dark-cutting beef: postmortem changes. *Journal of Animal Science*, 34(1), 46-48.
7. Avendaño, R. L., Álvarez, F. D., Molina, L., Saucedo, J. S., Correa, A. 2004. Engorda de corderos Pelibuey y sus cruzas con Dorper y Katahdin bajo condiciones de estrés calórico. XXVIII Congreso Nacional de Buiatría. Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios. Morelia, Michoacán, 10-13.
8. Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F. D., Águila-Tepato, E., Torrentera-Olivera, N. G., & Soto-Navarro, S. A. (2011). Effects of zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass characteristics, and wholesale cut yield of hair-breed ewe lambs consuming feedlot diets under moderate environmental conditions. *Journal of Animal Science*, 89(12), 4188-4194.
9. Aw-Hassan, A., Shomo, F., & Iniguez, L. (2010). Trends in small ruminant meat production—consumption gaps in West Asia and North Africa: implications for intra-regional trade. *Outlook on Agriculture*, 39(1), 41-47.

10. Bell, A. W., McBride, B. W., Slepatis, R., Early, R. J., & Currie, W. B. (1989). Chronic heat stress and prenatal development in sheep: I. Conceptus growth and maternal plasma hormones and metabolites. *Journal of Animal Science*, 67(12), 3289-3299.
11. Bellés, M., Alonso, V., Roncalés, P., & Beltrán, J. A. (2017). A review of fresh lamb chilling and preservation. *Small Ruminant Research*, 146, 41-47.
12. Berihulay, H., Abied, A., He, X., Jiang, L., & Ma, Y. (2019). Adaptation mechanisms of small ruminants to environmental heat stress. *Animals*, 9(3), 75.
13. Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., & Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4(7), 1167-1183.
14. Bernabucci, U., Lacetera, N., Danieli, P. P., Bani, P., Nardone, A., & Ronchi, B. (2009). Influence of different periods of exposure to hot environment on rumen function and diet digestibility in sheep. *International Journal of Biometeorology*, 53(5), 387-395.
15. Bhattacharya, A. N., & Hussain, F. (1974). Intake and utilization of nutrients in sheep fed different levels of roughage under heat stress. *Journal of Animal Science*, 38(4), 877-886.
16. Cain IIIJW, Krausman, PR, Rosenstock S, & Turner JC. (2006) Mechanisms of thermoregulation and water balance in desert ungulates. *Wildlife Society Bulletin*, 34(3),570-581.
17. Catunda, A. G. V., Lima, I. C. S., Bandeira, G. C., Gadelha, C. R. F., Pereira, E. S., Salmito-Vanderley, C. S. B., & Campos, A. C. N. (2013). Blood leptin, insulin and glucose concentrations in hair sheep raised in a tropical climate. *Small Ruminant Research*, 114(2-3), 272-279.
18. Cena, K., & Monteith, J. L. (1975). Transfer processes in animal coats. III. Water vapour diffusion. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 188(1093), 413-423.
19. Chay-Canul, A. J., Ayala-Burgos, A. J., Kú-Vera, J. C., Magaña-Monforte, J. G., & Tedeschi, L. O. (2011). The effects of metabolizable energy intake on body fat

- depots of adult Pelibuey ewes fed roughage diets under tropical conditions. *Tropical Animal Health and Production*, 43(5), 929-936.
20. Chay-Canul, A. J., Magaña-Monforte, J. G., Chizzotti, M. L., Piñeiro-Vázquez, A. T., Canul-Solís, J. R., Ayala-Burgos, A. J., & Tedeschi, L. O. (2016). Requerimientos energéticos de ovinos de pelo en las regiones tropicales de Latinoamérica. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(1), 105-125.
  21. Correa, M. P. C., Cardoso, M. T., Castanheira, M., Landim, A. V., Dallago, B. S. L., Louvandini, H., & McManus, C. (2012). Heat tolerance in three genetic groups of lambs in central Brazil. *Small Ruminant Research*, 104(1-3), 70-77.
  22. COTECOCA, 2016. Coeficiente de agostadero por entidad (hectárea por unidad animal). Recuperado el 11 de septiembre del 2019:  
[http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D2\\_AGRIGAN\\_04\\_06&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce&NOMBREENTIDAD=\\*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_AGRIGAN_04_06&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=)
  23. Cwynar, P., Kolacz, R., & Czerski, A. (2014). Effect of heat stress on physiological parameters and blood composition in Polish Merino rams. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*, 127(5/6), 177-182.
  24. Dávila-Ramírez, J. L., Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Torrentera-Olivera, N. G., Zamorano-García, L., Peña-Ramos, A., & González-Ríos, H. (2013). Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on physicochemical and sensory characteristics of meat from hair lambs. *Small Ruminant Research*, 114(2-3), 253-257.
  25. De la Peña, J. A. P., & Rojas, L. M. (1992). Comportamiento de borregos Pelibuey alimentados con dos niveles de energía en cuatro períodos de crecimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 30(1), 1-11.
  26. Partida De La Peña, J., D. Braña, H. Jiménez, y G. Buendía. (2013). Producción de Carne Ovina.  
Recuperado el 12 de enero del 2019, de  
<http://www.anetif.org/files/pages/0000000034/20-produccion-de-carne-ovina.pdf>
  27. Dixon, R. M., Thomas, R., Holmes, J. H. G. (1999). Interactions between heat stress and nutrition in sheep fed roughage diets. *Journal Agricultural Science*. 132:351-359.

28. El-Sherbieny, A.A., El-Oksh, H.A., Yousef, M.Y. Salem, M.H. and Khalil, M.H. (1983). Exposure to solar radiation in relation to wool length and plasma calorogenic hormonal picture in desert sheep. *Al-Azhar Agricultural Research Bulletin*.
29. Esqueda-Coronado, M. H., Gutiérrez-Ronquillo, E. (2009). Producción de ovinos de pelo bajo condiciones de pastoreo extensivo en el norte de México. (Ed. 1) INIFAP: Chihuahua, México.
30. FASS Federation Animal Science Society. (2010). Guide for the care and use of agricultural animals in agricultural research and teaching. Recuperado el 26 de agosto del 2019, de [https://aaalac.org/about/Ag\\_Guide\\_3rd\\_ed.pdf](https://aaalac.org/about/Ag_Guide_3rd_ed.pdf)
31. Fonseca, V. C., Saraiva, E. P., Maia, A. S. C., Nascimento, C. C. N., da Silva, J. A., Pereira, W. E., & Almeida, M. E. V. (2017). Models to predict both sensible and latent heat transfer in the respiratory tract of Morada Nova sheep under semiarid tropical environment. *International Journal of Biometeorology*, 61(5), 777-784.
32. Fuquay, J. W. (1981). Heat stress as it affects animal production. *Journal of Animal Science*, 52(1), 164-174.
33. García Castillo, G. (2000). *Estimación de parámetros genéticos en ovinos Saint-Croix en Marin, NL*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León.
34. Gastelum-Delgado, M. A., Avendaño-Reyes, L., Álvarez-Valenzuela, F. D., Correa-Calderón, A., Meza-Herrera, C. A., Mellado, M., & Macías-Cruz, U. (2015). Conducta estral circanual en ovejas Pelibuey bajo condiciones áridas del noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 6(1), 109-118.
35. Gaughan, J. B., Holt, S., Hahn, G. L., Mader, T. L., & Eigenberg, R. (2000). Respiration rate: Is it a good measure of heat stress in cattle?. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 13, 329-332.
36. Gebregeziabhear, E., & Ameha, N. (2015). The effect of stress on productivity of animals: a review. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(15), 165-172.
37. Gesualdi Júnior, A., Sales, É. S. V., Freitas, R. S., Henry, F. D. C., Oliveira, V. D. P. S. D., & Gesualdi, A. C. L. D. S. (2014). Effects of heat stress on the physiological parameters and productivity of hair sheep in tropical and coastal environments. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 43(10), 556-560.

38. Gómez-Gurrola, A., Sol-García, D., Sanginés-García, L., Loya-Olguín, L., Benítez-Meza, A., & Hernández-Ballesteros, A. (2017). Carcass yield of hair breed lambs fed with different levels of *Tithonia diversifolia* y *Pennisetum* spp. *Abanico Veterinario*, 7(2), 34-42.
39. Gonzalez-Bulnes, A., Meza-Herrera, C. A., Rekik, M., Ben Salem, H., & Kridli, R. T. (2010). Limiting factors and strategies for improving reproductive outputs of small ruminants reared in semi-arid environments. *Semi-arid environments: Agriculture, water supply and vegetation*. (Ed. KM Degenovine). Hauppauge, NY, USA. Nova Science Publishers.
40. Grandin, T. (1996). Factors that impeded animal movement at slaughter plants. *Journal American Veterinary Medical Association*, 209, 757-759.
41. Gregory, N. G. (2010). How climatic changes could affect meat quality. *Food Research International*, 43(7), 1866-1873.
42. Habeeb, A. L. M., Maray, I. F. M., Kamal, T. H. (1992). Heat stress. Farm animals and the environment. *International*, 27-44.
43. Habeeb, A. A., Gad, A. E., & Atta, A. M. (2018). Temperature-humidity indices as indicators to heat stress of climatic conditions with relation to production and reproduction of farm animals. *Internatonal Journal Biotechnology and Recent Advances*, 1(2), 35-50.
44. Hernández-Marín, J. A., Valencia-Posadas, M., Ruíz-Nieto, J. E., Mireles-Arriaga, A. I., Cortez-Romero, C., & Gallegos-Sánchez, J. (2017). Contribución de la Ovinocultura al Sector Pecuario en México. *Agroproductividad*, 10(3), 87-93.
45. Hinojosa-Cuéllar, J. A., Oliva-Hernández, J., Torres-Hernández, G., Segura-Correa, J. C., & González-Garduño, R. (2015). Productividad de ovejas F1 Pelibuey x Blackbelly y sus cruces con Dorper y Katahdin en un sistema de producción del trópico húmedo de Tabasco, México. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 47(2), 167-174.
46. Hoffman, I. (2010). Climate changes the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. Journal compilation, International Society for Animal Genetics, Immunogenetics, Molec Genet and Func Gen, 41(1), 32-46.

47. Hopkins, D. L., Hegarty, R. S., Walker, P. J., & Pethick, D. W. (2006). Relationship between animal age, intramuscular fat, cooking loss, pH, shear force and eating quality of aged meat from sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(7), 879-884.
48. Hunt, M. C., King, A. (2012). Meat color measurement guidelines. Recuperado el 25 de agosto del 2019, de [https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/hot-topics/download-the-ebook-format-pdf-of-the-meat-color-measurement-guidelines.pdf?sfvrsn=a218b8b3\\_0](https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/hot-topics/download-the-ebook-format-pdf-of-the-meat-color-measurement-guidelines.pdf?sfvrsn=a218b8b3_0)
49. INEGI. (2017). Anuario estadístico y geográfico de baja california 2017. Recuperado el 22 marzo del 2019, de [https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF\\_Docs/BCN\\_ANUARIO\\_PDF.pdf](https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/BCN_ANUARIO_PDF.pdf)
50. Kadim, I. T., Mahgoub, O., AlKindi, A. Y., Al-Marzooqi, W., Al-Saqri, N. M., Almaney, M., & Mahmoud, I. Y. (2007). Effect of transportation at high ambient temperatures on physiological responses, carcass and meat quality characteristics in two age groups of Omani sheep. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20(3), 424-431.
51. Kadim, I. T., Mahgoub, O., Al-Marzooqi, W., Al-Ajmi, D. S., Al-Maqbali, R. S., & Al-Lawati, S. M. (2008). The influence of seasonal temperatures on meat quality characteristics of hot-boned, m. psoas major and minor, from goats and sheep. *Meat Science*, 80(2), 210-215.
52. Kett, L. E. (2018). Evaluation of the Interaction of Beta-Adrenergic Agonists Supplementation and Heat Stress on Growth Performance and Carcass Composition in Feeder Lambs. Master Thesis. *University of Nebraska*.
53. Koluman, N., & Daskiran, I. (2011). Effects of ventilation of the sheep house on heat stress, growth and thyroid hormones of lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 43(6), 1123-1127.
54. Kouba, M., Hermier, D., & Le Dividich, J. (2001). Influence of a high ambient temperature on lipid metabolism in the growing pig. *Journal of Animal Science*, 79(1), 81-87.
55. Kumar, B., Manuja, A., & Aich, P. (2012). Stress and its impact on farm animals. *Front Biosci*, 4, 1759-1767.

56. Lawrie, R. A. 1985. Meat science (4th ed.). Oxford: Pergamon Press, 173-175.
57. Li, X. F., Knox, A. M. I., & O'byrne, K. T. (2010). Corticotrophin-releasing factor and stress-induced inhibition of the gonadotrophin-releasing hormone pulse generator in the female. *Brain Research*, 1364, 153-163.
58. Littell, R. C., Henry, P. R., & Ammerman, C. B. (1998). Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal of Animal Science*, 76(4), 1216-1231.
59. Liu, H., Li, K., Mingbin, L., Zhao, J., & Xiong, B. (2016). Effects of chestnut tannins on the meat quality, welfare, and antioxidant status of heat-stressed lambs. *Meat Science*, 116, 236-242.
60. López, R., Pinto-Santini, L., Perozo, D., Pineda, J., Oliveros, I., Chacón, T., & de Álvarez, L. R. (2015). Confort térmico y crecimiento de corderas West African pastoreando con y sin acceso a sombra artificial. *Archivos de Zootecnia*, 64(246), 139-146.
61. Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F. D., Olguín-Arredondo, H. A., Molina-Ramírez, L., & Avendaño-Reyes, L. (2012). Ovejas Pelibuey sincronizadas con progestágenos y apareadas con machos de razas Dorper y Katahdin bajo condiciones estabuladas: producción de la oveja y crecimiento de los corderos durante el período predestete. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 44(1), 29-37.
62. Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F. D., Torrentera-Olivera, N. G., Velázquez-Morales, J. V., Correa-Calderón, A., Robinson, P. H., & Avendaño-Reyes, L. (2010). Effect of zilpaterol hydrochloride on feedlot performance and carcass characteristics of ewe lambs during heat-stress conditions. *Animal Production Science*, 50(10), 983-989.
63. Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., Álvarez-Valenzuela, F. D., Torrentera-Olivera, N. G., Meza-Herrera, C., Mellado-Bosque, M., & Correa-Calderón, A. (2013). Crecimiento y características de canal en corderas tratadas con clorhidrato de zilpaterol durante primavera y verano. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(1), 1-12.
64. Macías-Cruz, U., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Meza-Herrera, C. A., Aréchiga, C. F., & Avendaño-Reyes, L. (2018a). Thermoregulatory response to outdoor heat

stress of hair sheep females at different physiological state. *International Journal of Biometeorology*, 62(12), 2151-2160.

65. Macías-Cruz, U., Gastélum, M. A., Álvarez, F. D., Correa, A., Díaz, R., Meza-Herrera, C. A., & Avendaño-Reyes, L. (2016b). Effects of summer heat stress on physiological variables, ovulation and progesterone secretion in Pelibuey ewes under natural outdoor conditions in an arid region. *Animal Science Journal*, 87(3), 354-360.
66. Macías-Cruz, U., Gastélum, M. A., Avendaño-Reyes, L., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Chay-Canul, A., & Arechiga, C. F. (2018b). Variaciones en las respuestas termoregulatorias de ovejas de pelo durante los meses de verano en un clima desértico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(4), 738-753.
67. Macías-Cruz, U., López-Baca, M. A., Vicente, R., Mejía, A., Álvarez, F. D., Correa-Calderón, A., & Avendaño-Reyes, L. (2016a). Effects of seasonal ambient heat stress (spring vs. summer) on physiological and metabolic variables in hair sheep located in an arid region. *International Journal of Biometeorology*, 60(8), 1279-1286.
68. Macías-Cruz, U., Sánchez-Estrada, T. J., Gastelum-Delgado, M. A., Avendaño-Reyes, L., Correa-Calderón, A., Álvarez-Valenzuela, F. D., & Mellado, M. (2015). Actividad reproductiva estacional de ovejas Pelibuey bajo condiciones áridas de México. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 47(3), 381-386.
69. Mahjoubi, E., Amanlou, H., Mirzaei-Alamouti, H. R., Aghaziarati, N., Yazdi, M. H., Noori, G. R., & Baumgard, L. H. (2014). The effect of cyclical and mild heat stress on productivity and metabolism in Afshari lambs. *Journal of Animal Science*, 92(3), 1007-1014.
70. Marai, I. F. M., El-Darawany, A. A., Fadiel, A., & Abdel-Hafez, M. A. M. (2008). Reproductive performance traits as affected by heat stress and its alleviation in sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 8(3), 209-234.
71. Marai, I. F. M., & Haeeb, A. A. M. (2010). Buffalo's biological functions as affected by heat stress—A review. *Livestock Science*, 127(2-3), 89-109.

72. Marai, I. F. M., El-Darawany, A. A., Fadiel, A., & Abdel-Hafez, M. A. M. (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep-a review. *Small Ruminant Research*, 71(1-3), 1-12.
73. McManus, C., Cobuci, J., Braccini Neto, J., & Paiva, S. (2011). Decision making in animal breeding programs and their consequences for animal production. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 35(2), 69-76.
74. McManus, C., Paludo, G. R., Louvandini, H., Gugel, R., Sasaki, L. C. B., & Paiva, S. R. (2009). Heat tolerance in Brazilian sheep: physiological and blood parameters. *Tropical Animal Health and Production*, 41(1), 95-101.
75. Mendoza, G.A.; Berumen, A. A.; Santamaría, M.E.; Vera, C.G. (2010). Diagnóstico Clínico del Ovino (Ed. 1). Villahermosa, Centro, Tabasco: UJAT.
76. Miranda-de la Lama, G. C., Monge, P., Villarroel, M., Olleta, J. L., García-Belenguer, S., & María, G. A. (2011). Effects of road type during transport on lamb welfare and meat quality in dry hot climates. *Tropical Animal Health and Production*, 43(5), 915-922.
77. Moberg, G. P., & Mench, J. A. (2000). *The biology of animal stress: basic principles and implications for animal welfare*. Recuperado el 15 de julio del 2019, de <https://books.google.com.mx/books?id=LmKCN-7kluYC&printsec=frontcover&dq=The+biology+of+animal+stress:+basic+principles+and+implications+for+animal+welfare.+CABI&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi165mi vdLIAhXFrJ4KHWrhDoAQ6AEIKzAA#v=onepage&q=The%20biology%20of%20animal%20stress%3A%20basic%20principles%20and%20implications%20for%20animal%20welfare.%20CABI&f=false>
78. Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., & Bernabucci, U. (2006). Climatic effects on productive traits in livestock. *Veterinary Research Communications*, 30, 75-81.
79. Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130(1-3), 57-69.
80. Neves, M. L. M. W., Azevedo, M. D., Guim, A., Leite, A. M., & Chagas, J. C. (2009). Critical levels of the Thermal Comfort Index for Santa Inês sheep under

grazing at the agreste region of Pernambuco State. *Acta Scientiarum-Animal Sciences*, 31(2), 169-175.

81. NRC. 1981. Nutrient requirements of goats. No. 15. Washington. D.C., USA. National Academy Press.
82. NRC. 1985. Nutrient requirements of Sheep (6th ed.). Washington. D.C., USA. National Academy Press.
83. NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. Washington. D.C., USA. National Academy Press.
84. Obregón, J. F., Dávila, R. H., Ríos, R. F. G., Estrada, A. A., Barajas, C. R., Ibarra, C. E., & Villalba, A. N. E. (2006). Respuesta productiva de ovinos de pelo en finalización con dietas isoproteicas elaboradas con pasta de canola, pasta de cártamo y rezaga de garbanzo. *XXXIV Reunión Nacional de la Asociación Mexicana de Producción Animal, Mazatlán, Sinaloa*, 172-175.
85. Odeón, M. M., & Romera, S. A. (2017). Estrés en ganado: causas y consecuencias. *Revista Veterinaria*, 28(1), 69-77.
86. Parés-Casanova, P. M., & Roure, A. A. R. (2013). Morphometric dimensions allow differentiation of lamb carcasses for some breeds. *Egyptian Journal of Sheep and Goat Sciences*, 8(1), 167-170.
87. Ponnampalam, E. N., Hopkins, D. L., Bruce, H., Li, D., Baldi, G., & Bekhit, A. E. D. (2017). Causes and contributing factors to “dark cutting” meat: Current trends and future directions: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), 400-430.
88. Ralph, C. R., Lehman, M. N., Goodman, R. L., & Tilbrook, A. J. (2016). Impact of psychosocial stress on gonadotrophins and sexual behaviour in females: role for cortisol?. *Reproduction*, 152(1), R1-R14.
89. Rana, M. S., Hashem, M. A., Akhter, S., Habibullah, M., Islam, M. H., & Biswas, R. C. (2014). Effect of heat stress on carcass and meat quality of indigenous sheep of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 43(2), 147-153.
90. Rangel-Quintos, J., Espinosa, J., De Pablos, C., Angón, E., Perea, J., Rivas, J., & García, A. (2014). Indicadores de desarrollo humano en el sistema bovino de

doble propósito en el trópico mexicano. *Revista Ciencia Universidad Técnica Estatal Quevedo*, 7, 183-187.

91. Rasooli, A., Jalali, M. T., Nouri, M., Mohammadian, B., Barati, F. (2010). Effects of chronic heat stress on testicular structures, serum testosterone and cortisol concentrations in developing lambs. *Animal Reproduction Science*, 117(1-2), 55-59.
92. Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De Basilio, V., Gourdine, J. L., & Collier, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6(5), 707-728.
93. Renaudeau, D., Gourdine, J. L., & St-Pierre, N. R. (2011). A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 89(7), 2220-2230.
94. Romero, R. D., Pardo, A. M., Montaldo, H. H., Rodríguez, A. D., & Cerón, J. H. (2013). Differences in body temperature, cell viability, and HSP-70 concentrations between Pelibuey and Suffolk sheep under heat stress. *Tropical Animal Health and Production*, 45(8), 1691-1696.
95. Ross, T. T., Goode, L., & Linnerud, A. C. (1985). Effects of high ambient temperature on respiration rate, rectal temperature, fetal development and thyroid gland activity in tropical and temperate breeds of sheep. *Theriogenology*, 24(2), 259-269.
96. Sánchez-Dávila, F., Bernal-Barragán, H., Padilla-Rivas, G., del Bosque-González, A. S., Vázquez-Armijo, J. F., & Ledezma-Torres, R. A. (2015). Environmental factors and ram influence litter size, birth, and weaning weight in Saint Croix hair sheep under semi-arid conditions in Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 47(5), 825-831.
97. Sañudo, C., Sierra, I., Olleta, J. L., Martin, L., Campo, M. M., Santolaria, P., & Nute, G. R. (1998). Influence of weaning on carcass quality, fatty acid composition and meat quality in intensive lamb production systems. *Animal Science*, 66(1), 175-187.
98. SAS, SAS/STAT. (2004). 9.2 User's guide statistics. Cary, NC, USA. SAS Inst. Inc.

99. Seixas, L., de Melo, C. B., Tanure, C. B., Peripolli, V., & McManus, C. (2017). Heat tolerance in Brazilian hair sheep. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(4), 593.
100. Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., & Lacetera, N. (2018). *Review: Adaptation of animals to heat stress. Animal*, 1-14.
101. Sejian, V., Kumar, D., Gaughan, J. B., & Naqvi, S. M. (2017). Effect of multiple environmental stressors on the adaptive capability of Malpura rams based on physiological responses in a semi-arid tropical environment. *Journal of Veterinary Behavior*, 17, 6-13.
102. Sejian, V., Singh, A. K., Sahoo, A., & Naqvi, S. M. K. (2014). Effect of mineral mixture and antioxidant supplementation on growth, reproductive performance and adaptive capability of Malpura ewes subjected to heat stress. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 98(1), 72-83.
103. Shelton, M., Malik, R. C., Razzaque, M. A., & Al-Nasser, A. Y. (2000). Sheep Production in Hot and Arid Zones. *Published by the Kuwait Institute for Scientific Research*, 155-162.
104. SIAP, (2017). Anuario Estadístico de la Producción Ganadera. Recuperado el 30 de mayo del 2019, de [https://nube.siap.gob.mx/cierre\\_pecuario/](https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/)
105. Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*, 67(1-2), 1-18.
106. Smith, G. C., & Griffin, D. B. (2001). *Meat evaluation handbook*. (Ed. 1). Wheaton, IL. American Meat Science Association.
107. Smith, S. M., & Vale, W. W. (2006). The role of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in neuroendocrine responses to stress. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 8(4), 383.
108. Tabarez-Rojas, A., Porrás-Almeraya, A., Vaquera-Huerta, H., Hernández-Ignacio, J., Valencia, J., Rojas-Maya, S., & Hernández-Cerón, J. (2009). Desarrollo embrionario en ovejas Pelibuey y Suffolk en condiciones de estrés calórico. *Agrociencia*, 43(7), 671-680.

109. Titto, C. G., Veríssimo, C. J., Pereira, A. M. F., de Mira Geraldo, A., Katiki, L. M., & Titto, E. A. L. (2016). Thermoregulatory response in hair sheep and shorn wool sheep. *Small Ruminant Research*, 144, 341-345.
110. Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597.
111. Vélez, A., Espinosa, J. A., De la Cruz, L., Rangel, J., Espinoza, I., & Barba, C. (2016). Caracterización de la producción de ovino de carne del estado de Hidalgo, Mexico. *Archivos de Zootecnia*, 65(251), 425-428.
112. Vicente-Pérez R., Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., Correa-Calderón A., López-Baca M., Lara-Rivera, A. L., (en prensa). Impacto del estrés por calor en la producción de ovinos de pelo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*.
113. Vicente-Pérez, R., Avendaño-Reyes, L., Álvarez, F. D., Correa-Calderón, A., Meza-Herrera, C. A., Mellado, M., & Macías-Cruz, U. (2015). Comportamiento productivo, consumo de nutrientes y productividad al parto de ovejas de pelo suplementadas con energía en el parto durante verano e invierno. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 47(3), 301-309.
114. Vicente-Pérez, R., Avendaño-Reyes, L., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Meza-Herrera, C. A., Montañez-Valdez, O. D., & Macías-Cruz, U. (2019). Relationships of body surface thermography with core temperature, birth weight and climatic variables in neonatal lambs born during early spring in an arid region. *Journal of Thermal Biology*, 82, 142-149.
115. Wildeus, S. (1997). Hair sheep genetic resources and their contribution to diversified small ruminant production in the United States. *Journal of Animal Science*, 75(3), 630-640.
116. Xing, T., Gao, F., Tume, R. K., Zhou, G., & Xu, X. (2019). Stress Effects on Meat Quality: A Mechanistic Perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(2), 380-401.