

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**Instituto de Ciencias Agrícolas**



**SUPLEMENTACIÓN CON UN COFACTOR GLUCOGÉNICO A  
OVINOS DE PELO ENGORDADOS BAJO ESTRÉS POR  
CALOR: EFECTOS FISIOLÓGICOS, EN CRECIMIENTO,  
CANAL Y CARNE**

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCION ANIMAL**

**PRESENTA**

**GERMÁN CASTILLO CRISTÓBAL**

**DIRECTOR**

**DR. ULISES MACÍAS CRUZ**

**CO-DIRECTOR**

**DR. JOSÉ LUIS PONCE COVARRUBIAS**

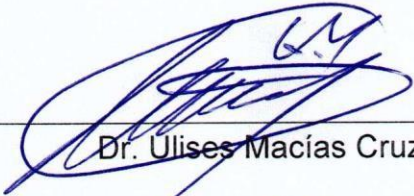





**EJIDO NUEVO LEÓN, MEXICALI, B.C.**

**AGOSTO, 2024.**

La presente tesis titulada “**Suplementación con un cofactor glucogénico a ovinos de pelo engordados bajo estrés por calor: efectos fisiológicos, en crecimiento, canal y carne**”, realizada por el **C. Germán Castillo Cristóbal**, fue dirigida por el **Dr. Ulises Macías Cruz**, siendo aceptada, revisada y aprobada por el Consejo Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

**Maestro en Ciencias en Sistemas de Producción Animal**

**COMITÉ PARTICULAR**

Presidente/Director	 _____
	Dr. Ulises Macías Cruz
Sinodal/Co-Director	 _____
	Dr. José Luis Ponce Covarrubias
Sinodal/Asesor	 _____
	Dr. Leonel Avendaño Reyes
Sinodal/Asesor	 _____
	Dra. María de los Angeles López Baca
Sinodal/Asesor	 _____
	Dra. Vielka Jeanette Castañeda Bustos
Sinodal/Asesor	 _____
	Dr. José Alejandro Roque Jiménez

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

Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México, agosto de 2024.

## AGRADECIMIENTOS

## DEDICATORIAS

## ÍNDICE TEMÁTICO

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>RESUMEN</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Hipótesis .....	3
1.2. Objetivos .....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1. Situación actual de la producción ovina .....	4
2.2. Sistemas de producción de engorda de ovinos.....	5
2.3. Finalización en corral de ovinos de engorda .....	6
2.4. Producción de ovinos en climas cálidos.....	9
2.5. Ovinos de pelo en estrés por calor.....	9
2.5.1. Zona termoneutral e índice de temperatura y humedad (ITH) .....	9
2.5.2. Termorregulación fisiológica .....	10
2.5.3. Ajustes en metabolismo de energía, proteína y metabolitos.....	11
2.5.4. Impacto en el crecimiento y canal.....	13
2.6. Estrategias nutricionales de mitigación del estrés por calor en la engorda ovina .....	14
2.6.1. Promotores de crecimiento .....	16
2.6.1. Uso de vitaminas y minerales .....	20
2.7. Uso de difosfato de tiamina en ovinos.....	21
2.7.1. Mecanismo de acción.....	21
2.7.2. Rutas metabólicas .....	22
2.7.3. Efectos en comportamiento productivo.....	24
2.7.4. Efectos en características de la canal.....	24
2.7.5. Efectos en la calidad de la carne .....	25
2.7.6. Aplicación como estrategia de mitigación de estrés por calor.....	25
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	27
3.1. Periodo experimental y lugar de estudio .....	27

3.2. Animales y manejo pre-experimental .....	27
3.3. Diseño y manejo experimental .....	28
3.4. Evaluación de las variables de estudio.....	29
3.4.1. Variables climáticas y fisiológicas .....	29
3.4.2. Comportamiento productivo .....	30
3.4.3. Características de la canal y rendimiento de cortes primarios .....	30
3.4.4. Evaluación de la calidad de la carne.....	31
3.5. Análisis estadístico .....	32
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
4.1. Condiciones climáticas.....	33
4.2. Variables fisiológicas.....	34
4.3. Comportamiento productivo .....	37
4.4. Características de la canal .....	38
4.5. Despojos de la canal.....	40
4.6. Rendimientos de cortes primarios .....	41
4.7. Calidad de la carne .....	41
<b>V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>43</b>
5.1. Condiciones ambientales .....	43
5.2. Efectos de difosfato de tiamina .....	43
5.3. Efectos de sexo.....	46
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>52</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Ingredientes y composición química de la dieta basal balanceada para corderos de engorda en etapa de finalización.....	28
<b>Cuadro 2.</b> Medias $\pm$ desviaciones estándar de las variables climáticas registradas durante la prueba en corral.....	33
<b>Cuadro 3.</b> Efecto del difosfato de tiamina sobre las variables fisiológicas de ovinos Dorper $\times$ Katahdin engordados bajo condiciones de estrés por calor.....	36
<b>Cuadro 4.</b> Efecto del difosfato de tiamina sobre el comportamiento productivo en corral de ovinos Dorper $\times$ Katahdin engordados bajo condiciones de estrés por <b>calor</b> .....	39
<b>Cuadro 5.</b> Efecto del difosfato de tiamina sobre las características de la canal de ovinos Dorper $\times$ Katahdin engordados bajo condiciones de estrés por calor..	40
<b>Cuadro 6.</b> Efecto del difosfato de tiamina sobre los pesos de despojos y órganos expresados como porcentaje del peso vivo vacío de ovinos Dorper $\times$ Katahdin engordados bajo condiciones de estrés por calor.....	40
<b>Cuadro 7.</b> Efecto del difosfato de tiamina sobre los rendimientos de cortes primarios de ovinos Dorper $\times$ Katahdin engordados bajo condiciones de estrés por <b>calor</b> .....	41
<b>Cuadro 8.</b> Efecto del difosfato de tiamina (DT) sobre la calidad de la carne de ovinos Dorper $\times$ Katahdin engordados bajo condiciones de estrés por <b>calor</b> .....	42

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Variación circadiana de la temperatura, humedad relativa e índice de temperatura-humedad.....	33
<b>Figura 2.</b> Temperatura superficial de ojo, oreja y frente de corderas y corderos Dorper × Katahdin suplementados con difosfato de tiamina bajo condiciones de estrés por calor.....	34
<b>Figura 3.</b> Efectos cuadráticos de las variables fisiológicas de ovinos Dorper × Katahdin como las horas del día avanzaron de 0600 a 1800 h bajo condiciones de estrés por calor de verano.....	35
<b>Figura 4.</b> Consumo diario de alimento de corderas y corderos Dorper × Katahdin suplementados con difosfato de tiamina bajo condiciones de estrés por calor.....	37
<b>Figura 5.</b> Profundidad del tórax y largo del cuerpo de corderas y corderos Dorper × Katahdin suplementados con difosfato de tiamina bajo estrés por calor.....	38

## RESUMEN

Se utilizaron 20 ovinos Dorper × Katahdin (10 machos y 10 hembras; peso vivo=  $31.0 \pm 2.8$  kg, edad= 4 meses) que se distribuyeron en un arreglo factorial  $2^2$  bajo un diseño de bloques completamente al azar, para evaluar los efectos de la suplementación de difosfato de tiamina en la dieta (DT; 0 y 250 mg/kg de alimento) y sexo sobre la termorregulación, el comportamiento productivo, las características de la canal, el rendimiento de cortes primarios y la calidad de la carne bajo condiciones de estrés por calor (EC) en una región desértica. Las condiciones climáticas fueron de EC severo extremo. La temperatura rectal y la frecuencia respiratoria no fueron afectadas ( $P > 0.05$ ) por DT, mientras que la frecuencia respiratoria varió ( $P < 0.01$ ) por el sexo, siendo mayor en las hembras. El DT redujo ( $P < 0.05$ ) el consumo de alimento y aumentó ( $P < 0.05$ ) las temperaturas de la superficie del ojo, la oreja y la frente en hembras, pero no en los machos. Además, independientemente del sexo, el DT aumentó ( $P \leq 0.05$ ) las temperaturas de superficie del cuello, la paleta, el lomo, el anca, el miembro anterior, los testículos, y los espacios peri-anal y peri-vulvar. Los machos también presentaron mayor ( $P \leq 0.04$ ) temperatura en las regiones nasal, costillar y anillo anal que las hembras. El efecto de DT sólo o en interacción con sexo no afectó ( $P \geq 0.27$ ) las variables de crecimiento, así como el peso de la canal, el rendimiento en canal, el área del músculo *Longissimus dorsi*, el espesor de grasa dorsal, la deposición de grasa interna, los rendimientos de cada corte primario y rasgos de calidad de la carne. En general, los machos comparados con las hembras tuvieron mayor ( $P < 0.01$ ) ganancia de peso, eficiencia alimenticia, largo de canal y rendimiento de paleta/espaldilla, pero también menor ( $P < 0.01$ ) rendimiento en canal, espesor de grasa dorsal y deposición de grasa interna. La carne de los machos en relación a la de las hembras presentó mayor ( $P \leq 0.05$ ) pH a 24 h *postmortem* y valor de  $a^*$ . En conclusión, la adición de DT en la dieta de engorda no es una estrategia nutricional benéfica para mejorar el crecimiento, las características de la canal y la calidad de la carne en ovinos de pelo estresados por calor, pero sí favorece las pérdidas de calor corporal a través de la piel indistintamente del sexo.

**Palabras claves:** Difosfato de tiamina, ovinos, termorregulación, producción intensiva.

## ABSTRACT

Twenty Dorper × Katahdin lambs (10 males and 10 females; liveweight= 31.0 ± 2.8 kg and age= 4 months) were assigned in a 2<sup>2</sup> factorial arrangement under a randomized complete block design to evaluate the effects of dietary supplementation of thiamin diphosphate (TD; 0 and 250 mg/kg of feed) and sex on thermoregulation, productive performance, carcass characteristics, wholesale yields and meat quality traits in heat-stress (HS) conditions of a desert region. The experimental environment was extremely severe HS. Both rectal temperature and respiratory rate were not affected ( $P>0.05$ ) by TD, while respiratory rate was different ( $P<0.01$ ) only between sexes, being higher in females. In females but not in males, TD decreased ( $P<0.01$ ) feed intake and increased ( $P<0.05$ ) eye, ear, and forehead surface temperature. Regardless of sex, TD also increased ( $P\leq 0.05$ ) surface temperatures of neck, shoulder, loin, rump, forelimb, testicles, and perianal and perivulvar spaces. Males had higher ( $P\leq 0.04$ ) temperatures in the nasal, rib and anal regions than females. Both supplemental TD alone or its interaction with sex did not affect ( $P\geq 0.27$ ) growth variables, carcass weight and yield, *Longissimus dorsi* muscle area, fat thickness, deposition of internal fat, wholesale yields and meat quality traits. Overall, males had higher ( $P<0.01$ ) weight gain, feed efficiency, carcass length and shoulder/paddle yield, but also lower ( $P<0.01$ ) carcass yield, fat thickness and deposition of internal fat than females. Both pH at 24 h *postmortem* and  $a^*$  value were higher ( $P\leq 0.05$ ) in the meat of males than in that of female. In conclusion, adding DT to the fattening diet is not a beneficial nutritional strategy to improve growth, carcass characteristics and meat quality in heat-stressed hair lambs, but it does increase heat losses to through of body surface regardless of sex.

**Keywords:** Thiamin diphosphate, sheep, thermoregulation, intensive production.

## I. INTRODUCCIÓN

Las altas temperaturas que se registran en la época de verano (>45° C) son una de las principales problemáticas a la que se enfrenta la producción de carne y leche en la región noroeste de México, ya que los climas son de tipo árido y desértico (Theusme et al., 2021). Así, el ambiente caliente del verano provoca que los animales de producción desarrollen la condición fisio-patológica de estrés por calor (EC). Los ovinos de pelo, que en la última década aumentaron en esta región en un 15% (SIAP, 2020), han mostrado buena capacidad de adaptación a estas condiciones ambientales, y tienen la habilidad para seguir creciendo y reproduciéndose aun cuando el clima ofrezca un ambiente de EC en los veranos (Vicente-Pérez et al., 2020). A pesar de esto, los corderos de engorda de esta raza en respuesta al EC de verano tienen una reducción en la ganancia diaria de peso y eficiencia alimenticia, que conlleva a una menor deposición de masa muscular y calidad de la canal (Macías-Cruz et al., 2013; 2020). Lo anterior se refleja en un incremento en los días en engorda y en los costos de alimentación, reduciendo las ganancias netas económicas de los productores por desarrollar esta actividad productiva en la época de verano (COPLADE, 2019). Por lo tanto, es necesario el desarrollo de estrategias que ayuden a mitigar parcial o totalmente los efectos negativos del EC en la producción de carne ovina, con el fin de mejorar la rentabilidad de esta actividad en los veranos.

Interesantemente, los efectos negativos del EC sobre el comportamiento productivo y las características de la canal de los corderos de engorda no son atribuidos a una reducción en el consumo como en otras especies, sino a un efecto directo de las altas temperaturas que conducen a un mayor gasto energético de mantenimiento asociado con la activación de los mecanismos de termorregulación (Macías-Cruz et al., 2020; Vicente-Pérez et al., 2020). En consecuencia, la energía metabolizable (EM) consumida diariamente a través de la dieta no varía por el EC, pero en su distribución corporal se sacrifica en parte la disponibilidad de energía para ganancia de peso (Macías-Cruz et al., 2020). No obstante, se ha demostrado que estos corderos ajustan su metabolismo de energía bajo este escenario de insulto térmico para hacer más eficiente el aprovechamiento de la energía de ganancia,

particularmente tratan de mantener un metabolismo anabólico disminuyendo los niveles de hormonas tiroideas al mismo tiempo que aumentan la sensibilidad de glucosa a insulina y la resistencia de glucosa a cortisol, lo cual favorece un mayor consumo y oxidación celular de glucosa (Nicolás-López et al., 2021). Este es un mecanismo adaptativo de los corderos de engorda de pelo que, si bien no evita la disminución en la ganancia de peso vivo y músculo, les permite no perder peso vivo y músculo al mismo tiempo que continúan ganando peso, pero de manera más lenta (Vicente-Pérez et al., 2020).

Dado que en el verano los corderos no tienen suficiente disponibilidad de EM para crecimiento, pero su metabolismo energético está modificado para incrementar la eficiencia de uso de energía a través de mayor consumo de glucosa intracelular, una alternativa para mejorar el comportamiento productivo y las características de la canal de estos corderos de engorda expuestos a EC podría ser la suplementación oral de un cofactor enzimático, tal como el difosfato de tiamina (DT), el cual funciona como una coenzima de los dos complejos enzimáticos más importantes del ciclo de Krebs, por lo que estimula una mayor producción de adenosin trifosfato (ATP) y energía metabolizable, propiciando una mejor utilización de la glucosa y una óptima síntesis de proteína (Karapinar et al., 2008; Harun y Sali, 2019). El DT se ha evaluado escasamente en ovinos de pelo en condiciones de estrés por calor con resultados que no muestran una mejora en el comportamiento productivo (Silzell et al., 2002; Cisneros et al., 2022). Además, un estudio en becerros de destete estresados por transportación evidenció que la suplementación de tiamina tampoco genera beneficio en el comportamiento productivo (Silzell et al., 2002). Por otro lado, existe evidencia contradictoria en condiciones termoneutrales donde el DT ha mostrado un efecto positivo en comportamiento productivo (Rosas, 2018; Zamora et al., 2020).

Por lo tanto, la alta disponibilidad de glucosa intracelular que promueve el difosfato de tiamina, representa una fuente extra de EM que puede ser aprovechada por los corderos de engorda estresados por calor en verano para aumentar la disponibilidad de energía de crecimiento y la deposición de masa muscular, lo cual a su vez podría favorecer una mayor ganancia de peso, eficiencia alimenticia y calidad

de la canal, sin comprometer la capacidad de termorregulación fisiológica. Sin embargo, hasta el momento no se ha encontrado evidencia del efecto de la administración de este glucogénico sobre el comportamiento productivo, las características de la canal y el metabolismo de energía de corderos de engorda que experimentan EC natural o inducido.

### **1.1. Hipótesis**

La adición de difosfato de tiamina a la dieta de finalización de engorda de ovinos de pelo estresados por calor mejora el comportamiento productivo, las características de la canal y la calidad de la carne, sin modificar la capacidad de termorregulación fisiológica.

### **1.2. Objetivos**

Evaluar el efecto de la suplementación dietaria de difosfato de tiamina sobre la capacidad de termorregulación fisiológica, el comportamiento productivo, las características de la canal y calidad de la carne de corderas y corderos de raza de pelo finalizados en corral bajo un ambiente natural de estrés por calor de una región desértica.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Situación actual de la producción ovina

Considerando el incremento demográfico a nivel mundial y con la demanda carne para abasto, los ovinos podrían llegar hacer una fuente de proteína animal esencial para el consumo humano (FAO, 2021a). México cuenta con una población de ganado ovino de 8 766 678 cabezas, distribuidas principalmente en los estados del centro del país, el Estado de México e Hidalgo (SIAP, 2021a). La producción de ganado ovino en el país durante el año 2021 fue de 65 891 toneladas en canal (SIAP, 2021b). El estado de México es principal estado productor de ovinos, el cual aportó una producción nacional de 9 566, toneladas de ovinos en canal en 2020, seguido por los estados de Hidalgo 6 803, Veracruz 5 566, Zacatecas 4 389, Jalisco 4 628 y Puebla 4 478 toneladas (SIAP, 2020). La producción nacional es deficitaria, lo cual ha llevado a importar carne de ovino, de países como Australia, Canadá, Nueva Zelanda, Estados Unidos y Uruguay (Bobadilla-Soto et al., 2021).

En el ámbito internacional, la producción de ovinos durante el año 2022 alcanzó un total de 16,201 millones de toneladas (OECD/FAO, 2023). Los principales países exportadores de carne ovina en el 2021 fueron Australia (62,789.10 ton) y Nueva Zelanda (6'231,186 ton), concentrando el 72% de las exportaciones globales (Hernández-Marín et al., 2018; Banco Mundial 2021). Sin embargo, la población ovina en el estado de Baja California en el año 2021 fue de 33,499 cabezas, lo que representa un aporte bajo en relación con la producción nacional (SIAP, 2021a). Con respecto a la producción de carne en el 2020, se registraron 297 ton carne en canal (SIAP, 2020).

La problemática que plantea la ovinocultura nacional es compleja, debido a que la carne de ovino tiende a un buen precio en el mercado, sin embargo, no se satisface la demanda del mercado a nivel nacional e internacional. Desde hace algunos años se han buscado estrategias por los ovinocultores, con el propósito de dar solución a la baja eficiencia productiva de los rebaños (Bobadilla-Soto et al., 2021). Adicionalmente, la producción de rebaños ovinos a través del sistema de producción tradicional o de

traspatio tienen como limitante un bajo uso de tecnologías para la producción, así como una falta de organización para la comercialización y homogenización, lo que resulta en baja productividad. Por lo anterior, esto ha provocado un incremento en la importación para satisfacer la demanda nacional (Bobadilla-Soto et al., 2022). Como respuesta a la problemática planteada, la producción ovina nacional se ha enfocado en utilizar ovinos de la raza de pelo para la producción de carne (Bobadilla-Soto et al., 2021), debido a los beneficios que presentan comparados con las razas de lana. Los principales benéficos son la capacidad de tolerar altas temperaturas sin comprometer su productividad (Partida de la Peña et al., 2013; Vicente Pérez et al., 2020). Esto permite la producción de ovinos aun en climas áridos y semiáridos, resultando en la disminución de importaciones a nivel nacional.

## **2.2. Sistemas de producción de engorda de ovinos**

La producción ovina es una actividad ganadera que tiene como objetivo la crianza y engorda de corderos para la producción de carne. Las razas utilizadas para esta actividad son en mayor medida razas de pelo y menor proporción de razas de lana (Arce-Recinos et al., 2021), la selección de la raza se basará dependiendo del clima en el que se desarrolle esta actividad. Dentro de las razas de pelo las más importantes son Katahdin, Pelibuey, Dorper y Black Belly, y las razas de lana se destacan la Suffolk, Hampshire, Dorset, Charolais y Rambouillet (Partida de la Peña et al., 2017).

En México, existen diversos sistemas para la producción de ovinos, donde las condiciones climáticas, la disponibilidad de alimento y el nivel socioeconómico de los productores (Vélez et al., 2016), serán los factores que caracterizan a los sistemas de producción. Un sistema de producción se entiende como un agrupo de elementos técnicos y humanos interrelacionados, que pueden implementar una variedad de estrategias, el uso de aditivos y planificación de manejos preventivos (Bobadilla-Soto et al., 2021). La producción de ovinos se lleva bajo tres sistemas de producción: intensivo, semi-intensivo y extensivo. El sistema intensivo se caracteriza por la disponibilidad de instalaciones que permiten tener a los animales confinados y utilizar herramientas tecnificadas, por consiguiente, la alimentación es basada en granos e

insumos proteicos. Además de utilizar razas especializadas para la producción de carne, insumos industriales, uso de programas de sanidad y manejos reproductivos controlados. Esto permite obtener mayores índices de productividad y por ende homogeneidad en los rebaños que resultan en una mejor calidad de la carne ovina (Muñoz-Osorio et al., 2022).

El sistema semi-intensivo es una combinación de la agricultura con la crianza de animales, en el cual su alimentación son pastizales inducidos o cultivados, así como el uso de granos básicos (en su mayoría granos) y otras fuentes de alimentos elaborados por los productores, siendo escasos los alimentos industrializados, así como poca tecnificación en el sistema de producción. En el sistema extensivo, los animales son alimentados por medio del pastoreo en agostaderos naturales o en potreros con pastos inducidos durante el día para posteriormente ser resguardados durante la noche (Bobadilla-Soto et al., 2021). Según Bobadilla-Soto et al. (2021), el tipo de crianza y alimentación es de un bajo valor monetario, por lo tanto, la inversión económica en el alimento, sanidad e infraestructura es mínima, mientras que la mano de obra es generalmente familiar (Chávez-Espinoza et al., 2022).

### **2.3. Finalización en corral de ovinos de engorda**

La finalización de ovinos de engorda se lleva a cabo mediante la alimentación intensiva con una dieta integral balanceada. Este método sugiere ser una estrategia de alimentación balanceada, la cual es un equilibrio entre el pastoreo y una adición de un suplemento, que ha demostrado ser viable al producir corderos del mismo peso al finalizarlos en menor tiempo, sin afectar la calidad de la carne y obteniendo rendimiento en la canal. Macías-Cruz et al. (2010) señalaron que existen condiciones importantes en la engorda de animales, en este aspecto factores como el uso de cruza de razas, la calidad de los insumos y estrategias alimentarias pueden afectar la rentabilidad de la finalización de corderos en corral. Considerando lo anterior, estos factores que afectan los márgenes de ganancia en los corrales de engorda son el precio de compra de los corderos, el rendimiento de la canal y la calidad de la carne (Lima et al., 2017). La engorda en corral puede resumirse como una práctica de compra de corderos destetados, mejorando su valor en el mercado a través de la

alimentación intensiva y el manejo para producir una canal que cumpla con las exigencias del mercado (Muñoz-Osorio, 2021). Utilizar corderos destetados en un sistema intensivo, es aprovechar las altas tasas de crecimiento de los corderos destetados y, por lo tanto, aseguran la eficiencia de la alimentación antes de depositar niveles altos de grasa (Muñoz-Osorio et al., 2015). También se puede aprovechar el beneficio del crecimiento complementario o compensatorio en corderos que no recibieron una adecuada nutrición para el crecimiento antes del destete (Addah et al., 2017). El aporte primordial en el capital en una engorda es el valor del cordero al destete, que está determinado por el peso vivo de los corderos en ese momento. El peso vivo de los corderos al destete puede variar entre 20 y 25 kg dependiendo de la raza, la edad al destete y del sistema de producción procedente. Generalmente, los corderos son destetados alrededor de los 100 días de edad (Neser et al., 2000; Ronquillo et al., 2018), aunque los pesos al destete de acuerdo con un peso corporal predeterminado pueden ser destetados a una temprana edad. La duración del período de engorda hasta la finalización está determinada por el peso final deseado y la cobertura de grasa subcutánea. Es importante mencionar que el periodo de engorda para algunos productores se encuentra entre 4 y 6 semanas o a un peso fijo para el sacrificio.

El requerimiento energético de los ovinos varía en función del genotipo, el sexo, la edad, las condiciones fisiológicas, la actividad física y la temperatura ambiental (NRC, 2007). En los ovinos se considera que el consumo de energía es el primer nutriente limitante para el crecimiento (Tedeschi et al., 2008). De acuerdo con lo indicado por el NRC (2007) la cantidad de EM para corderos en etapa de finalización es de 2.9 kcal/kg de materia seca (MS; Cárdenas-Medina et al., 2018). En un estudio realizado para determinar los requerimientos de EM para ganancia en ovejas multíparas, no gestantes y no lactantes en razas de pelo (Pelibuey y Katahdin), encontraron un requerimiento energético de 3.2 kcal/kg de MS, para ambas razas (Cárdenas et al., 2018). Por otro lado, existen reportes donde han estimado los requerimientos energéticos para mantenimiento en ovinos machos que se encuentran en el rango de 3.5 a 4.1 kcal/kg de MS en ovinos de pelo (Pelibuey), en donde la

adición más alta de energía ganó más peso durante el estudio (Cantón-Castillo et al., 1995).

Los parámetros productivos en la engorda de ovinos son indicadores de importancia económica, estos evalúan el potencial de un sistema producción. Los parámetros de mayor importancia para la producción de carne en ovinos son: la ganancia diaria de peso, el peso final, el tiempo de duración de la engorda, el consumo de alimento y la conversión alimenticia (Muñoz-Osorio, 2021). En este sentido, se han reportado promedios generales para la ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y peso final de la engorda en los rangos de 240 a 350 g/d, 1.0 a 1.6 kg/d, 4.0 a 6.0 kg/kg y 35 a 45 kg, respectivamente, en corderos de cruzas comerciales bajo sistemas intensivos (Muñoz-Osorio, 2015, 2021; Vargas-Bello-Pérez et al., 2023).

Los principales problemas sanitarios en la alimentación de corderos en corral son las patologías que se presentan en los animales, entre las más frecuentes se encuentran las enfermedades respiratorias principalmente neumonías, causadas por microorganismos de etiología bacteriana o viral, los signos clínicos son: la tos, la dificultad respiratoria, la secreción nasal y la fiebre. Son altamente contagiosas y tienen gran impacto sobre la mortalidad y disminución en la ganancia de peso (Jahnier et al., 2018). Otra patología frecuente en los pequeños rumiantes sometidos a programas intensivos de producción es la urolitiasis de etiología multifactorial, que incluyen desequilibrios minerales e ingesta de concentrado, sin embargo, está más atribuido a las dietas con alto contenido de granos (Carrillo-Díaz et al., 2015; Bonagurio Gallo et al., 2019), esta patología ocasiona pérdidas económicas entre 0.5 y 0.6 % (Almeida et al., 2001; Carrillo-Díaz et al., 2015). Adicionalmente, se pueden observar enfermedades digestivas como diarreas, timpanismo y acidosis, trayendo consigo y significativas pérdidas económicas por mortalidad de los corderos (Muñoz-Osorio et al., 2015).

## **2.4. Producción de ovinos en climas cálidos**

Uno de los factores que afecta la producción de ovina es el cambio climático, fenómeno que amenaza la producción animal en general y, en consecuencia, la producción de alimentos, esto debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (Sejian et al., 2017). La producción de pequeños rumiantes predomina en las regiones áridas y semiáridas del mundo, ya que son capaces de sobrevivir en condiciones de baja disponibilidad de recursos alimenticios y cuentan con una mayor tolerancia al estrés por calor comparados con otras especies como los bovinos (Sejian et al., 2017; Al-Dawood et al., 2017). Sin embargo, esta actividad enfrenta desafíos importantes debido a las condiciones ambientales extremas que afectan negativamente el bienestar animal y consecuentemente su desarrollo. Las altas temperaturas en los ovinos pueden afectar la productividad y la calidad de la carne, debido a la activación de los mecanismos adaptativos, los cuales incrementan las demandas de energía para alcanzar la termorregulación (Vicente-Pérez et al., 2020; Macías-Cruz et al., 2020). Bajo condiciones de estrés por calor, los ovinos presentan baja fertilidad, desarrollo y crecimiento fetal, así como baja ganancia de peso y eficiencia alimenticia durante la etapa de engorda (Marai et al., 2007; Macías-Cruz et al., 2013a). El EC tiene efectos negativos sobre los parámetros productivos, sin embargo, estos efectos van a depender del nivel de adaptación de cada raza o genotipo, observándose en ciertos genotipos de razas de pelo mayor termoresistencia (Correa et al., 2013).

## **2.5. Ovinos de pelo en estrés por calor**

### **2.5.1. Zona termoneutral e índice de temperatura y humedad**

Los ovinos de las razas de pelo son de gran importancia debido a que han sido desarrollados en climas cálidos, por lo que tienen una adaptación genética para tolerar y adaptarse a climas extremos (Aguilar-Martínez et al., 2017). Los estudios realizados en las regiones áridas y semiáridas del noroeste de México, en los meses más calientes del año, reportan que la capacidad productiva y reproductiva de los ovinos de pelo (Pelibuey, Katahdin, Dorper y cruza) no es afectada drásticamente (Macías-Cruz et al., 2010; Macías-Cruz et al., 2013b).

La zona termoneutral para los ovinos se sitúa entre las 5 y 25 °C (Sejian et al., 2017). Sin embargo, las razas de pelo, toleran de manera natural las altas temperaturas, debido a su capacidad termorresistente, su zona termoneutral puede ubicarse entre los 15 y 30 °C (Neves et al., 2009; Vicente-Pérez et al., 2020). Esta capacidad termorresistente en los ovinos de pelo, está regulada por la activación de mecanismos compensatorios y adaptativos que permiten mayor tolerancia a las altas temperaturas, mayores al límite superior de su zona termoneutral, esto sin comprometer drásticamente su productividad (Vicente-Pérez et al., 2020). No obstante, cuando la carga de calor del animal sobrepasa su capacidad de disipación se produce la condición de EC (Marai et al., 2007). En el caso específico de la raza de pelo, el límite superior de la zona de confort puede ser considerado de 30 °C (Neves et al., 2009). Otros factores ambientales como la humedad relativa y la radiación solar pueden interactuar con la temperatura, lo que causa EC y presentar un límite superior de la zona termoneutral (López et al., 2015). El índice de temperatura-humedad (ITH) también se utiliza para evaluar el nivel de estrés, combina la temperatura ambiente y la humedad relativa, en los ovinos de pelo se ha observado que pueden comenzar a experimentar EC a partir de un ITH de  $\geq 22.2$  unidades (Vicente-Pérez et al., 2020) y se puede clasificar en función de las unidades obtenidas como: moderado (22.2 a  $< 23.3$ ), severo (23.3 a  $< 25.6$ ) y muy severo ( $\geq 25.6$ ).

### **2.5.2. Termorregulación fisiológica**

Cuando la temperatura ambiente aumenta por encima del límite superior de la zona termoneutral, el equilibrio hemostático es afectado (Al-Dawood, 2017). En este sentido, los ovinos deben realizar en primer plano ajustes fisiológicos para tratar de disipar el exceso de carga térmica (Al-Dawood, 2017). La termorregulación fisiológica significa que los ovinos realizan un mínimo esfuerzo para mantener la normotermia cuando se encuentran dentro del rangos de temperatura ambiente de confort térmico. El principal mecanismo para evitar la hipertermia en ovinos estresados por calor es aumentar la frecuencia respiratoria (McManus et al., 2009; Gonçalves-Titto et al., 2016). Independientemente de la raza, los ovinos pueden disipar al menos el 60% de la carga de calor corporal a través del tracto respiratorio (Marai et al., 2007). Por

ejemplo, en razas de pelo además de aumentar la frecuencia respiratoria también se aumenta el consumo de agua y disminuye el consumo de alimento, como principales respuestas fisiológicas de termorregulación cuando experimentan EC (Vicente-Pérez et al., 2020). Cuando la frecuencia respiratoria aumenta, al mismo tiempo también aumenta la temperatura rectal por la exposición a altas temperaturas (Al-Dawood, 2017; Macías-Cruz et al., 2016a). El aumento de la frecuencia respiratoria y la temperatura rectal se producen de forma natural en todas las razas de ovinos (Ross et al., 1985; Romero et al., 2013; Macías-Cruz et al., 2016a; Macías-Cruz et al., 2016b). Sin embargo, el promedio en el aumento de estas variables es menor en los ovinos de pelo que en los de lana (Ross et al., 1985; Romero et al., 2013; Gonçalves-Titto et al., 2016). Esto sugiere que las razas de pelo pueden estar realizando otro tipo de adaptaciones fisiológicas de diferente naturaleza, y al mismo tiempo aumentar la tasa de respiración. Por ejemplo, la disminución de la actividad motora o metabólica (Ross et al., 1985; McManus et al., 2009).

Las investigaciones sugieren que la reducción de la frecuencia respiratoria en los ovinos de pelo puede estar relacionada con la pérdida continua de calor corporal, a través de la piel en ambientes de EC (McManus et al., 2009; Gonçalves-Titto et al., 2016). De esta manera, los esfuerzos por disipar el calor resultan en vasodilatación y redistribución del flujo sanguíneo hacia los tejidos periféricos, aumentando la sensibilidad de la piel y promoviendo la pérdida de calor por radiación, convección y sudoración (Marai et al., 2007; da Silva et al., 2017). La pérdida de calor del tracto respiratorio es más importante en condiciones de calor, ya que la evaporación del agua de la piel a través del sudor es baja, aproximadamente el 10% en las ovejas de pelo (da Silva et al., 2017). El aumento de la frecuencia respiratoria y la pérdida de calor a través de la piel funcionan sinérgicamente para hacer que la termorregulación sea más eficiente en los ovinos de las razas de pelo (Macías-Cruz et al., 2016a).

### **2.5.3. Ajustes en metabolismo de energía, proteína y metabolitos**

Las respuestas fisiológicas y conductuales provocadas en animales estresados por calor están reguladas a nivel neuroendocrino (Tabarez-Rojas et al., 2009) y están asociados a cambios en las concentraciones de glucocorticoides principalmente. El

cortisol juega un importante papel en la adaptación a factores estresantes (Tabarez-Rojas et al., 2009). La hormona de cortisol es un mediador de la gluconeogénesis hepática. La disponibilidad de glucosa en el organismo del animal es fundamental durante los estados de alerta y estrés. Esto se debe a que la glucosa actúa como una fuente de energía altamente disponible dentro de las células (Sejian et al., 2012) además se sabe que los niveles de cortisol sérico aumentan en respuestas a la acción de factores estresantes en razas de pelo (Tsigos y Chrousos, 2002). Esto se debe a que el organismo requiere energía disponible para hacer frente al gasto energético adicional asociado con la activación de los mecanismos termorreguladores evaporativos (Vicente-Pérez et al., 2020).

La regulación del metabolismo energético en condiciones de EC en ovinos dependerá de la insulina, hormona metabólica que desempeña un importante papel en la regulación del metabolismo energético (Mahjoubi et al., 2014). En respuesta a los niveles de EC la insulina aumenta, provocando hiperinsulinemia, como una estrategia que protege el buen funcionamiento del páncreas y promoverá la producción de más proteínas implicadas en el estrés o proteínas de choque térmico (HSP, por sus siglas en inglés; [Baumgard y Rhoads, 2013]). Por lo tanto, el EC reduce la ingesta de alimentos, mientras que la hiperinsulinemia previene la lipólisis y aumenta las concentraciones de ácidos grasos no esterificados que causan una apoptosis excesiva de las células  $\beta$  pancreáticas (Nelson et al., 2002). Este estado de hiperinsulinemia causado por el EC impide que la insulina utilice las reservas del cuerpo incluso cuando se reduce la ingesta de alimentos, lo que le permite mantener el peso vivo, la condición corporal y mantener al menos un aumento de peso mínimo (Morigny et al., 2016). Un estudio de ovinos adaptados a condiciones de EC informó que los ovinos continuaron ganando peso incluso cuando el consumo de alimento se redujo en un 17.5%, reduciendo así los requerimientos de mantenimiento en condiciones de EC severo (Mahjoubi et al., 2014).

Adicionalmente, se ha reportado que el efecto por EC disminuye las concentraciones séricas de metabolitos sanguíneos. Macías-Cruz et al. (2016) reportaron una disminución en las concentraciones séricas de glucosa, colesterol y

triglicéridos en ovinos de la raza de pelo sometidos a condiciones de EC. Estos resultados se atribuyeron a la disminución de un gasto extra de energía, debido al aumento de la frecuencia respiratoria, además observaron cambios en los niveles séricos de urea y potasio sin afectar las concentraciones de sodio, indicando que los ovinos no tuvieron pérdidas significativas de líquidos corporales, lo que demuestra la activación de mecanismos metabólicos que evitan la deshidratación.

#### **2.5.4. Impacto en el crecimiento y canal**

Las investigaciones sobre los efectos e impacto del EC en el crecimiento y la engorda de corderos de pelo, continúan desarrollándose principalmente en las regiones que presentan condiciones de climáticas extremas, como en el norte de México (Vicente-Pérez et al., 2020). Se ha observado que factores como las altas temperaturas y humedad afectan negativamente el consumo de alimento, además de incrementar el consumo de agua (Marai et al., 2007) y los requerimientos de energía metabolizable, medio por el cual activan los mecanismos termorregulatorios (Marai et al., 2007; Sejian et al., 2017). En consecuencia, el aumento en los requerimientos energéticos para mantenimiento y la reducción del consumo de alimento (Sejian et al., 2017; Shinde y Sejian, 2013) provoca una baja tasa de crecimiento y eficiencia alimenticia.

Macías-Cruz et al. (2013a) reportaron que en corderas de pelo en condiciones de EC redujeron la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia en 28 y 20 % respectivamente. En estudios posteriores de Macías-Cruz et al. (2020) encontraron que el peso final, la ganancia diaria de peso, la ganancia de peso total y la eficiencia alimenticia fueron superiores en corderos en condiciones termoneutrales comparados con los expuestos a condiciones de EC. En este mismo estudio observaron que los corderos en condiciones de EC tuvieron mejor rendimiento de la canal caliente, comparado con los animales en condiciones termoneutrales, sin embargo, no encontraron diferencias en el peso de la canal caliente, no obstante, el peso de la canal fría disminuyó en corderos estresados, sin afectar el rendimiento de la canal. Además, reportaron que la mayoría de las variables sobre la calidad de la carne fueron afectadas

por condiciones de EC, provocando un descenso en el pH a los 45 min y 14 días *postmortem*, así como tener efectos negativos en el color de la carne.

## **2.6. Estrategias nutricionales de mitigación del estrés por calor en la engorda**

El EC es uno de los múltiples efectos negativos que provoca el calentamiento global, este EC afecta la ganadería al comprometer el bienestar animal y la productividad (Surinder et al., 2023). De manera natural, los animales han desarrollado ciertos comportamientos para afrontar las altas temperaturas. Por ejemplo, los rumiantes tienden a descansar durante las horas más calientes del día y se vuelven más activos durante las horas más frescas (Surinder et al., 2023). Sin embargo, este tipo de comportamiento compromete el desempeño productivo debido a que los rumiantes, al igual que en otros homeotermos, buscan el balance entre calor metabólico generado y la pérdida de calor corporal, mecanismo crucial para mantener la temperatura corporal interna (Berman, 2011). Así, los ovinos reducen su consumo de alimento y la tasa de crecimiento para reducir la producción de calor metabólico (Vicente-Pérez et al., 2020). Para maximizar la pérdida de calor corporal por radiación, los animales estresados redistribuyen el suministro sanguíneo desde el tracto gastrointestinal hacia la periferia, lo que provoca hipoxia y daño celular a las membranas intestinales. Este re-direccionamiento conduce a incrementar la permeabilidad intestinal e inflamación, provocando un aumento de radicales libres (Chauhan et al., 2014).

El EC provocado por las altas temperaturas es un desafío para la ganadería, por lo que se requiere el desarrollo de estrategias de adaptación y mitigación para reducir los efectos negativos y mejorar la producción animal. Actualmente, existen estrategias nutricionales para mitigar los efectos causados por el estrés causado por las altas temperaturas. Como, por ejemplo, el aumento de la energía dietaria y la disminución de la fibra. Otra estrategia es el incremento de concentrado y el uso de suplementos grasos en la dieta, de manera que el consumo de alimento en los animales no se afecte drásticamente por el EC. No obstante, se ha observado en vacas en bajo condiciones de EC a presentar problemas metabólicos como acidosis ruminal, esto provocado por el uso de altas cantidades de grano en las dietas (Baumgard et al.,

2014). Por lo anterior, el incremento de granos se debe realizar estratégicamente en la alimentación de los rumiantes. El uso de granos de fermentación lenta o bien, granos de fermentación rápida que pasan por un tratamiento previo, tiene como objetivo de reducir la velocidad de fermentación del almidón en el rumen (Prathap et al., 2022). La producción de calor derivada de la fermentación y la digestión del alimento varían en función de su naturaleza y la cantidad consumida. El consumo de dietas ricas en energía provenientes de cereales de rápida fermentación como el trigo, están relacionadas con trastornos digestivos en el ganado de engorda (Stone, 2004). Por otro lado, los granos de fermentación lenta, como el maíz están asociados con una reducción de calor provocado por la fermentación y mejorar la utilización de la energía metabolizable (Owens et al., 1986). En este sentido, Gonzales-Rivas et al. (2016) realizaron un estudio para determinar si la reducción de calor metabólico con granos de fermentación lenta mejoraba la tolerancia de los animales al EC, lo que resultó en una mejor respuesta fisiológica de los animales alimentados con granos de maíz en comparación a los alimentados con trigo. Por lo tanto, la producción de calor metabólico probablemente se deba a diferencias en la tasa de fermentación del maíz en comparación con el trigo.

El efecto del EC también está implicado en causar estrés oxidativo, debido a la disminución de las concentraciones de antioxidantes. Se ha implementado la adición de antioxidantes para proteger el daño oxidativo, provocando la producción de especies reactivas de oxígeno inducida por el EC. Los antioxidantes son compuestos que pueden eliminar los radicales libres y prevenir o reducir el daño oxidativo. La superóxido dismutasa, el glutatión peroxidasa, la tioredoxina reductasa y la catalasa son algunas de las enzimas antioxidantes de alto peso molecular más importantes. Estos antioxidantes desempeñan funciones esencialmente en el mantenimiento celular (Lykkesfeldt y Svendsen 2007). Dado que el EC tiene un impacto negativo en la salud de los animales, provocando un estrés oxidativo, la adición de antioxidantes pudiera controlar el estrés oxidativo de manera positiva en condiciones de EC. Valadez-García et al. (2021) realizaron un estudio donde evaluaron los efectos de la suplementación dietaria con ácido ferúlico libre sobre los marcadores del estado oxidativo en corderas bajo EC. En este estudio, se reportó una tendencia a disminuir las concentraciones

séricas de productos proteicos de oxidación avanzada sin modificar los niveles séricos de malondialdehído, capacidad oxidante total, capacidad antioxidante total y el índice de estrés oxidativo.

Se ha estudiado también el uso de la suplementación de vitamina E en combinación con Se como una estrategia de mitigación del EC, obteniéndose resultados benéficos (Miller et al., 1993). Dichos efectos benéficos son atribuidos a una acción sinérgica entre la vitamina E y Se con el propósito de reducir la oxidación de los lípidos y prevenir la reacción en cadena de la peroxidación de los lípidos (Miller et al., 1993). Adicionalmente, Kkalid et al. (2013) evaluaron el efecto de la suplementación de algas marinas (*Ulva lactuca*), en corderos en crecimiento bajo condiciones en época de verano caluroso, no obstante, no encontraron ningún beneficio que contrarrestara los efectos negativos causados por del EC.

### **2.6.1. Promotores de crecimiento**

Los promotores de crecimiento son sustancias utilizadas en la producción animal para mejorar la conversión alimenticia, la ganancia diaria de peso, la calidad de la carne o la producción de leche (Herago y Agonafir, 2017). Esto se debe a que algunos promotores actúan mejorando la eficiencia del uso del nitrógeno dietario al transformarlo en aminoácidos y, así aumentan la síntesis de proteínas para la formación de músculo (Wierup, 2001). Los promotores de crecimiento se han utilizado desde hace años en la producción animal, de tal manera que pueden ser clasificados en cinco grupos: aditivos alimenticios, implantes hormonales (esteroidales), hormona de crecimiento, agentes repartidores de nutrientes (beta-agonistas) y probióticos. Los aditivos alimenticios son sustancias que se añaden al alimento para satisfacer las necesidades específicas de los animales, y pueden proporcionar nutrientes esenciales para incrementar la resistencia del animal a enfermedades. Los aditivos alimenticios incluyen los antibióticos, ácidos orgánicos y enzimas exógenas. Algunos de estos compuestos se agregan a la dieta del ganado lechero y ganado para engorda, con el fin de mejorar los parámetros productivos y las características de la canal (Eversole et al., 1989; Allam et al., 2001). Los antibióticos utilizados como aditivos, actúan sobre el tracto gastrointestinal del animal promoviendo un ambiente óptimo en conjunto con la

mucosa intestinal, con esto se espera observar efectos beneficiosos en la absorción y eficiencia de los nutrientes, además de inhibir microorganismos patógenos que pueden encontrarse en los nutrientes o producir sustancias tóxicas. De esta manera, con el incremento en la utilización de nutrientes, podemos esperar una mejora en la conversión alimenticia y la tasa de crecimiento (Fuller, 1999). Existen algunos antibióticos que han sido utilizados por la resistencia que ejercen, como por ejemplo la monensina (Newbold et al., 1993), flavomicina (Corpet, 1998) y la virginiamicina (Gaines et al., 1990).

Por otra parte, la utilización de proteínas complejas como las enzimas en la producción animal, son consideradas estrategias alimentarias y la fuente de origen puede ser diversa. Estas proteínas pueden mejorar la digestibilidad de los nutrientes y por consecuencia reflejarse en la consistencia de las heces fecales. Por ejemplo, el uso de la amilasa exógena ha mostrado mejorar la digestibilidad en rumiantes y no rumiantes (Ankrah et al., 1999; Wierup, 2001). Esta amilasa exógena puede provenir de *Bacillus licheniformis*, esta enzima tiene efectos benéficos en la degradación del almidón (Wierup, 2001) de los nutrientes dietarios.

Otra estrategia es el uso de los implantes hormonales, utilizados ampliamente en la industria ganadera en muchos países. Estos pueden mejorar resultados en el crecimiento y la eficiencia alimenticia, así como mejorar el crecimiento desde la lactancia hasta el periodo de finalización en la producción de carne (Platter et al., 2003). La característica de estos implantes, es que son pequeños dispositivos que se insertan vía subcutánea (debajo de la piel). Generalmente se coloca en el tercio medio de la parte posterior de la oreja, para ser liberadas lentamente las hormonas al torrente sanguíneo. De tal manera, que la dosis se encuentra controlada y el periodo específico de tiempo también (Wierup, 2001). Las hormonas naturales (estradiol, testosterona y progesterona) y las sintéticas (acetato de trembolona y zeranol), son las más utilizadas en los implantes en la industria cárnica (Elmore, 1992). La testosterona tiene efectos androgénicos, la progesterona tiene efectos gestagénicos y el estradiol tiene efectos estrogénicos. Estas hormonas sintéticas tienen como objetivo imitar la actividad biológica de las hormonas naturales. Por ejemplo, el acetato de trembolona imita los

efectos de la testosterona (androgénicos) y por su parte los estrógenos al estradiol (Pepper y Dobson, 2007).

Se ha observado que el estradiol aumenta el apetito y mejora la conversión alimenticia (Elmore, 1992). La testosterona, también conocida como propionato de testosterona, se utiliza principalmente para aumentar la ganancia de peso corporal y la eficiencia alimenticia, ya sea solo o en combinación con otras sustancias hormonales activas (Elmore, 1992). Además de ser el precursor de todas las principales hormonas esteroides (andrógenos, estrógenos y glucocorticoides) en las glándulas suprarrenales y las gónadas, la progesterona se convierte en uno o más metabolitos en la mayoría de los tejidos corporales para aumentar la tasa de crecimiento de los animales (Wiebe, 2006). El acetato de trembolona, es un profármaco que en su forma activa se convierte en  $17\beta$ -trembolona, que se isomeriza en  $17\alpha$ -trembolona, un esteroide con mayores efectos anabólicos que la testosterona. La forma principal de  $17\alpha$ -trembolona se produce en el tejido muscular, mientras que el  $17\alpha$ -epímero se produce en el hígado y las excretas, incluida la bilis. Se cree que actúa de manera anabólica al interactuar con los receptores de andrógenos y glucocorticoides (Elliot et al., 1993).

El zeranol es derivado del micoestrogeno natural zeralanona y tiene una afinidad potente a los receptores de estrógenos, tanto *in vitro* como *in vivo* (Takemura et al., 2007). Actúa de manera similar al estradiol, se ha utilizado como promotor de crecimiento hormonal en una variedad de productos, ya sea individualmente (Leffers et al., 2001), o en combinación con el acetato de trembolona (Yuri et al., 2006). Una hormona de gran interés es la somatotropina, también conocida como hormona de crecimiento (GH por sus siglas en inglés), la cual está representada por una cadena polipeptídica de 191 aminoácidos que varía ampliamente entre especies (Eversole et al., 1996). La GH aumenta el peso mediante el estímulo del metabolismo de las proteínas, y al mismo tiempo disminuye la deposición de grasa en algunas especies (Richarson, 1996). Se sabe que en el caso de los bovinos la GH es secretada de la glándula pituitaria, clasificándola en hormona no esteroidea. El uso de GH en ganado lechero mostró una capacidad de movilizar la grasa corporal para obtener energía durante la

lactancia, y por consecuencia producción de leche, y no para la síntesis de tejidos. Además, se ha observado, que la somatotropina mejora la producción de leche entre 10 y 15 % (Lee et al., 2010), teniendo como objetivo principal aumentar la producción de leche. También se ha reportado su efecto en el ganado de engorda, reportando un aumentando en la tasa de crecimiento, la conversión alimenticia y un efecto magro en la canal; este efecto magro se atribuye a la reducción de la grasa depositada en la canal. Finalmente, se ha señalado que los implantes pueden causar efectos negativos sobre la terneza y la calidad de la carne, que son relacionados con una reducción de la grasa en la canal, y por consecuencia una menor aceptabilidad (Allen y Enright, 1999), sin embargo, aún sigue siendo un tema controversial.

Los agonistas beta ( $\beta$ -) adrenérgicos mejoran la eficiencia en el crecimiento mediante la estimulación de los receptores  $\beta$ -adrenérgicos en la superficie celular. Actúan como agentes de reparto de los nutrientes, modificando la composición de la canal, reduciendo la deposición de grasa hasta un 40% y aumentan el contenido de proteína muscular hasta un 40%. El incremento en la acumulación de proteínas es causado por el estímulo de los agonistas que se unen a los receptores  $\beta_1$  y  $\beta_2$  del músculo, lo cual incrementa en la síntesis de proteínas musculares (Fuller, 1999) en el tejido muscular. Los agonistas  $\beta$ -adrenérgicos también promueven la hipertrofia celular mediante la disminución catalítica de la proteína y promueven la lipólisis (Brumby, 1999). Se han analizado diversos compuestos como agonistas  $\beta$ -adrenérgicos, tales como cimaterol, clenbuterol, fenoterol, isoprenlina, mabuterol, ractopamina, salbutamol, terbutalina y zilpaterol. Muchos de estos agonistas  $\beta$ -adrenérgicos se han retirado del mercado para el uso en producción animal a nivel mundial.

Los probióticos son cultivos de microorganismos vivos que tienen un efecto benéfico en el huésped al mejorar las propiedades en la microflora natural (Ghadban, 2002), estos pueden ser hongos, levaduras, bacterias y cultivos mixtos (Willis et al., 2011). Las bacterias suelen considerarse probióticos más que los hongos. Los más utilizados en la alimentación animal pueden contener una sola o múltiples especies microbianas. Existen probióticos que contienen microorganismos que son procedentes

del tracto gastrointestinal de los animales, normalmente bacterias pertenecientes a los géneros *Lactobacillus* (TaHERI et al., 2009) y *Bifidobacterias* (Patterson y Burkholder, 2003), que han sido reportados con mayor frecuencia. Por otro lado, están las levaduras que no se encuentran de manera natural en el tracto intestinal digestivo de los animales (Bajagai et al., 2016), no obstante, actúan como prebióticos los cuales ofrecen beneficios en la producción animal.

### **2.6.1. Uso de vitaminas y minerales**

Las vitaminas son componentes cruciales en la dieta de los animales y otros organismos vivos. La vitamina E no puede ser sintetizada por el cuerpo del animal, y está presente en plantas verdes y productos animales (Macit et al., 2003). La vitamina E suplementada en dietas para el ganado ha mostrado efectos positivos en el comportamiento productivo, las características de la canal y en la calidad de la carne. También se ha utilizado con frecuencia en la nutrición animal para mejorar la calidad de la carne. Así mismo, la adición de vitamina E, tuvo efectos como protector del epitelio ruminal frente a la acción del contenido ruminal en animales alimentados con dietas altas en granos (Macit et al., 2003). Adicionalmente, se ha reportado que la vitamina E adicionada oralmente fue eficaz para reducir la oxidación de lípidos y prevenir la formación de radicales libres en la carne del ganado. Esto debido a su actividad antioxidante, causando una mejor estabilidad en el color de la carne, al mismo tiempo, redujo la pérdida por goteo en carnes frescas y congeladas, prolongando vida de anaquel (Mitssumoto et al., 1998). Un estudio realizado por Macit et al. (2003), reportaron que al suplementar con vitamina E mejoró un 8.8 % en la eficiencia alimenticia, y por consecuencia tuvieron un aumento del 6.7 % en la ganancia de peso diario.

Otras de las vitaminas usadas en la producción animal como promotores de crecimiento son las vitaminas del complejo B. Específicamente la vitamina B1 o tiamina, ha sido utilizada en su forma activa y es conocida como DT. El DT se caracteriza por estar involucrada en varias funciones celulares, incluido el metabolismo energético y la degradación de los carbohidratos. Se sabe que en rumiantes sanos no requieren la adición dietaria de DT, debido a la extensa síntesis ruminal de tiamina por

parte de los microorganismos ruminales (Karapinar et al., 2010). Existen en el mercado alimentos integrales, ampliamente utilizados en la nutrición de rumiantes con fuentes importantes de DT. No obstante, se sabe que el aumento en la proporción de granos en la dieta puede alterar la actividad microbiana del rumen (Girard et al., 1994), pudiendo alterar la microbiota del rumen y por consecuencia reducir la síntesis de DT. En la actualidad, las investigaciones con el uso de DT en la producción animal, señalan que ganado con altos rendimientos en su productividad pueden tener mayores necesidades de vitamina B de las que pueden sintetizar los microorganismos en el rumen (Santschi et al., 2005).

## **2.7. Uso de difosfato de tiamina en ovinos**

Un estudio reportó que el uso de DT en ovinos incrementó simultáneamente las concentraciones séricas de creatinina y de urea (Kalyesubula et al., 2021), observando una aceleración en el metabolismo muscular. Además, en este estudio señala que se redujo la grasa, al parecer más específicamente por medio del hígado que del tejido adiposo. Castillo-Cristóbal et al. (2022) y Zamora et al. (2020) observaron un efecto benéfico en el comportamiento productivo cuando adicionaron DT en ovinos. Sin embargo, es importante mencionar que las investigaciones relacionadas con el uso de DT en ovinos aún se encuentra en desarrollo, por lo que la información es limitada para ciertas variables de estudio. Kalyesubula et al. (2021b) reportaron que en ovejas tratadas con altas dosis de DT, los animales presentaron niveles completamente normales de grasa intrahepática, a pesar de consumir la misma cantidad de dieta de engorda. En dicho estudio también encontraron una reducción en la hiperglucemia y un aumento en el contenido de glucógeno en el hígado, sin embargo, no mejoró la sensibilidad a la insulina, lo que sugiere una cierta resistencia a la insulina. Asimismo, el DT puede aumentar la capacidad catalítica para la oxidación hepática de carbohidratos y ácidos grasos (Kalyesubula et al., 2021a).

### **2.7.1. Mecanismo de acción**

La estructura de la tiamina está compuesta por una pirimidina sustituida y un anillo de tiazol enlazado a un puente metileno. Su descripción química es el 3-(4-

*amino-2-metilpirimidil-5-metil-4-metil-5-(b-hidroxietyl)-tiazol*. La tiamina tiene su forma activa como DT, la cual actúa como una coenzima de diferentes procesos del metabolismo celular; se destaca su acción en aumentar la actividad de enzimas implicadas en el metabolismo de las pentosas, tales como  $\alpha$ -cetoácido deshidrogenasas, pirúvico descarboxilasas, transcetolasa y fosfoacetolasa, enzimas (Bettendorff y Wins, 2020).

El DT es una coenzima universal para la descarboxilación de los  $\alpha$ -cetoácidos, el cual tiene un rol central en el metabolismo energético en todos los organismos vivos. Como coenzima en las reacciones de la transcetolasa, el DT también tiene un rol vital en la vía de la pentosa fosfato, que es una ruta importante para la síntesis de ácidos nucleicos, aminoácidos, esteroides, lípidos, neurotransmisores, glutatión y el suministro de NADP reducido para varias vías (Rindi y Laforenza, 2000). El DT se encuentra principalmente en las mitocondrias, donde se une principalmente a los complejos de piruvato y oxoglutarato deshidrogenasa en las células animales. El citosol contiene cantidades más pequeñas, sin embargo, en el hígado y el músculo esquelético, el DT es principalmente citosólico. El DT también está presente en los peroxisomas, donde está unido a la 2-hidroxiacil-CoA ligasa (Francascia et al., 2011). Los derivados trifosforilados de tiamina y trifosfato de tiamina de adenosina son generalmente compuestos menores en tejidos, pero el trifosfato de tiamina se ha encontrado consistentemente en la mayoría de los organismos (Makarchikov et al., 2003). Así que el DT es un importante cofactor para mejorar la eficiencia energética en los animales al interactuar con enzimas asociadas al metabolismo energía dentro de rutas metabólicas como la glucólisis y cadena transportadora de electrones (Bubber y Gibson, 2004).

### **2.7.2. Rutas metabólicas**

La actividad general de las coenzimas dependientes del DT se puede dividir en categorías metabólicas diferentes. De manera particular en el metabolismo energético, las funciones del DT como coenzima de las  $\alpha$ -cetoácidos deshidrogenasas mitocondriales: piruvato deshidrogenasa, cetoácidos de cadena ramificada deshidrogenasa y  $\alpha$ -cetoglutarato deshidrogenasa. En la descarboxilación del piruvato

a acetil-coenzima A (acetil-CoA) por el piruvato deshidrogenasa, y la función catalítica del DT acoplada a glucólisis para la oxidación terminal de la glucosa en el ciclo de Krebs (Ciszak et al., 2003). Como coenzima para los cetoácidos de cadena ramificada deshidrogenasa, el DT es vital en la utilización de aminoácidos de cadena ramificada, principalmente en los músculos, como fuente de combustible durante la inanición (Holecek, M. 2001). Estas funciones enfatizan la importancia de la biodisponibilidad de la tiamina para el catabolismo parcial y anaeróbico de la glucosa y los aminoácidos. El papel del DT en  $\alpha$ -cetoglutarato deshidrogenasa, es una enzima clave para la tasa de recambio del ciclo de Krebs, destaca su importancia para la oxidación terminal de los tres macronutrientes principales: carbohidratos, proteínas y grasas (Huang et al., 2003).

Se ha reportado que el DT incrementa la creatinina, debido al metabolismo muscular derivado del fosfato de creatina. Un elevado estado energético del fosfato de creatina desencadena un papel importante en el metabolismo energético, principalmente en tejidos que demandan altas cantidades de energía en el músculo esquelético y el cardíaco (Brosnan y Brosnan 2007). Dado que la formación de creatinina es espontánea y no enzimática, sus niveles están relacionados con la masa muscular. Por tanto, la actividad de la creatinina sérica puede incrementar y al mismo tiempo la masa muscular (Patel et al., 2013; Page et al., 2021). Por otra parte, el DT puede incrementar las concentraciones de urea, lo que indica un aumento en la degradación de aminoácidos. Esto es coherente con un aumento en el metabolismo muscular, posiblemente mediado por el DT, y por la enzima limitante en el catabolismo de aminoácidos de cadena ramificada (Shimomura et al., 2006). Se ha reportado que la terapia con DT en altas dosis previno la esteatosis hepática inducida por la sobrenutrición en ovejas (Kalyesubula et al., 2021b), y restauró la actividad enzimática dependiente de DT. Adicionalmente, se observó una reducción en lesiones mitocondriales asociadas a traumas cerebrales e incluso en ausencia de deficiencia de DT (Mkrtychyan et al., 2018), lo que en conjunto sugiere que las concentraciones de DT superiores a los niveles fisiológicos normales pueden promover un aumento mitocondrial, aunque no necesariamente, por medio de maximizar la capacidad oxidativa de las deshidrogenasa dependientes del DT.

### **2.7.3. Efectos en el comportamiento productivo**

Algunos estudios reportan los efectos del DT sobre el comportamiento productivo en ovinos de engorda, donde observaron que la adición del DT en la dieta mejoró las variables de comportamiento productivo sin afectar el consumo de materia seca (Zamora et al., 2020). Resultados similares se han observado en aves de engorda, las cuales recibieron una dieta adicionada con DT y reportaron un mejor peso corporal sin afectar el consumo de alimento (Torre et al., 2016), sin embargo, Silzell et al. (2002) reportaron que la suplementación de DT dietario en vaquillas no causó efecto en la ganancia diaria de peso. Similarmente, Kakyesubula et al. (2021b) no observaron efectos por la adición de DT sobre la ganancia de peso y el peso final en ovejas adultas. Cabe mencionar que estos estudios fueron realizados en condiciones temoneutrales. Por otro lado, en un estudio realizado con cuyes en etapa de crecimiento y finalización, reportaron que la adición de DT no causó diferencias en la ganancia de peso y peso final, sin embargo, se observó que el DT representó una fuente potencial de remplazo energético en la dieta (Rota et al., 2021).

### **2.7.4. Efectos en las características de la canal**

Actualmente existe información limitada con respecto a los efectos de la adición de la DT en la dieta de rumiantes y específicamente en ovinos. Estos estudios solo se llevan hasta la evaluación de las características de la canal, y algunas variables de mayor interés económico. Grigat y Mathison (1982) reportaron que la adición del DT dietario en novillos causó un efecto positivo sobre el peso de las canales obtenidas, no obstante, no se encontró alguna otra diferencia sobre otra característica de la canal. Estos resultados de acuerdo con los autores, son atribuidos a que los novillos tratados mostraron un mejor comportamiento productivo causado por la adición de DT. Adicionalmente, otro estudio realizado por Rosas (2018), señala que el uso de DT no causa efecto en las características de la canal en novillos en etapa de finalización.

### **2.7.5. Efectos en la calidad de la carne**

Los resultados de los efectos del DT sobre la calidad de la carne son escasos debido a que los estudios realizados (Zamora et al., 2020; Torre et al., 2016; Silzell et al., 2002; Kakyesubula et al., 2021; Rota et al., 2021), solo se llevaron hasta las pruebas de comportamiento productivo y con limitadas variables evaluadas. Esta situación queda restringida a resultados en el comportamiento productivo, características de la canal y algunas otras variables metabólicas (Grigat y Mathison, 1982; Rosas, 2018). Un estudio reportó que la adición de DT tenía efectos sobre la calidad de la carne, sin embargo, el estudio se limitó solo a la evaluación de algunas variables (Rosas, 2018).

### **2.7.6. Aplicación como estrategia de mitigación del estrés por calor**

El uso del DT en la producción animal es una potencial estrategia para futuras investigaciones que evalúen sus efectos bajo condiciones de EC. La adición de DT dietario en la producción de ovinos de razas de pelo, tiende hacer una oportunidad en zonas que presentan climas calientes y los animales presentan EC en la engorda. Anteriormente, se mencionó los mecanismos por los cuales pueden considerarse el DT como coenzima para la descarboxilación de  $\alpha$ -cetoácidos, fundamentalmente como una vía central en el metabolismo energético de todos los organismos (Manzetti et al., 2014). Se ha demostrado que los ovinos específicamente de la raza de pelo adaptados a condiciones de EC no reducen el consumo de alimento, pero si reducen la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia (Macías-Cruz et al., 2020; Vicente-Pérez et al., 2020). Considerando que bajo condiciones de EC los ovinos incrementan los requerimientos de energía metabolizable, no solo para la tasa de crecimiento, sino también para la activación de los mecanismos de termorregulación. Podría decirse que la energía disponible es limitada para la ganancia de peso, debido a que el metabolismo energético se concentre en re-direccionar la energía para hacerla más eficiente a través de un mayor consumo de glucosa intracelular (Karapinar et al., 2008; Harun y Sali, 2019) y mitigar el EC. En este sentido, se ha comprobado que la suplementación de DT mejora la tolerancia de glucosa en individuos hipoglucémicos

(Alaei-Shahmiri et al., 2013), asimismo, en animales alimentados con altas cantidades de granos es capaz de mitigar los efectos negativos a nivel ruminal como un incremento en el pH ruminal y daño en el lumen ruminal. Por lo tanto, el DT puede tener un efecto positivo sobre el metabolismo energético y el estado fisiológico de los ovinos en condiciones de EC debido a la disponibilidad de glucosa intracelular que se promueve (Manzetti et al., 2014), lo cual podría compensar el gasto extra de energía. Finalmente, el DT podría representar una fuente extra de energía que puede ser aprovechada por los ovinos bajo condiciones de EC, aumentando la disponibilidad de energía para el crecimiento y al mismo tiempo activar los mecanismos de termorregulación. Por lo anterior, nos planteamos en este estudio que la suplementación de DT en ovinos de pelo bajo condiciones de EC puede actuar de manera simultánea en el metabolismo energético, por medio de diferentes vías metabólicas que abastecerán los requerimientos energéticos necesarios, resultando en un mejor desempeño en el comportamiento productivo, características de la canal y posibles efectos positivos en la calidad de la carne.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Periodo experimental y lugar de estudio**

El experimento se realizó en la parte intermedia del verano de 2022, dentro de las instalaciones de la Unidad Experimental Ovina del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA), Universidad Autónoma de Baja California (UABC). La institución se ubica en el Ejido Nuevo León del Valle de Mexicali, Baja California, México, específicamente a una latitud norte de 32.38° y longitud oeste de 115.28°. El clima predominante es desértico cálido (BWh) con temperaturas máximas superiores a los 45° C en época de verano y mínimas de 0° C en invierno; la precipitación media anual es de 77.8 mm distribuida mayormente en época de invierno (INEGI, 2017).

#### **3.2. Animales y manejo pre-experimental**

Se utilizaron 20 ovinos de engorda de la craza Dorper × Kathadin (10 hembras y 10 machos), los cuales se manejaron de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas NOM-051-ZOO-1995 (establece el trato humanitario de los animales durante su movilización), NOM-062-ZOO-1999 (describe el manejo de la producción, cuidado, uso y protección de la salud de los animales de laboratorio), y NOM-033-SAG/ZOO-2014 (especifica los métodos para el sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres). Todos los ovinos recibieron manejo profiláctico 30 días antes del inicio del experimento, además se adaptaron durante 15 días a las corraletas individuales y dieta experimental base (Cuadro 1). El manejo profiláctico consistió en la administración oral de 3.0 mL/animal de Adbendal 10% Co® (equivalente a 10 mg de albendazol y 1.5 mg de sulfato de cobalto por mL; Laboratorio Adler Pharma, Tlaquepaque, Jalisco, México), 0.5 mL/animal de Vigantol ADE Fuerte® inyectado intramuscular (equivalente 500 000 UI vitamina A, 75 000 UI de vitamina D<sub>3</sub> y 50 mg de vitamina E por mL; Laboratorio Elanco Salud Animal, Zapopan, Jalisco, México), y administración subcutánea de 2.5 mL/animal de la vacuna Bovimune® clostri 10 (inmuniza contra enfermedades causadas por *Clostridium chauvoei*, *septicum*, *sordelli*, *novyi*, *tetani*, *haemolyticum*, *perfringens* tipo A, B, C y D; Laboratorio Lapisa, La piedad Michoacana, México). Por otra parte, las corraletas individuales tenían un área de 2.0 m<sup>2</sup> y estaban

construidas de paredes de malla ciclónica, piso de tierra, sombra de lámina galvanizada a una altura de 2.5 m, y provistas con comedero y bebedero.

**Cuadro 1.** Ingredientes y composición química de la dieta basal balanceada para corderos de engorda en etapa de finalización.

Ingredientes	%
Alfalfa molida	12.5
Trigo molido	60.0
Harina de soya	10.0
Premix <sup>a</sup>	2.0
Bicarbonato de calcio	0.5
Paja de trigo	15.0
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Composición química (base MS)</b>	
Materia seca (%)	90.5
Energía metabolizable (Mcal/kg de MS)	2.8
Proteína cruda (%)	16.2
Grasa (%)	1.5
Fibra (%)	8.3
Cenizas (%)	7.8
Fibra detergente acida (%)	18.0
Fibra detergente Neutro (%)	25.7

<sup>a</sup> 1,200,000 IU de vitamina A; 200,000 UI de vitamina D3; 1,200 UI de vitamina D-3; 3,2 mg de vitamina E; 1 g de riboflavina; 0,4 g de vitamina K-3; 4 g de niacina; 2 g de pantotenato de calcio; 30 g de cloruro de colina; 16 g Zinc; 16 g ÉI; 1 g de Cu; 1 g Mn; 90 mg I; 33 mg Se; 3,3 g de B.H.T.

### 3.3. Diseño y manejo experimental

Al inicio del experimento todos los ovinos tenían una edad de 4 meses y fueron pesados individualmente (PV= 31 ± 2.8 kg) con el fin de asignarlos en un arreglo factorial 2<sup>2</sup> (sexo y difosfato de tiamina [DT]) bajo un diseño de bloques completamente al azar (PV inicial se usó como factor de bloqueo) a las siguientes combinaciones de tratamientos: 1) hembras sin DT, 2) hembras con DT, 3) machos sin DT y 4) machos

con DT. La dosis de DT ofrecida diariamente fue a razón de 250 mg/kg de alimento, y los tratamientos se ofrecieron durante los 40 d que duró la prueba de comportamiento productivo. Los animales se alimentaron *ad libitum* dos veces al día (06:00 y 18:00 h) considerando una tasa de rechazo del 15 %, mientras que el agua se ofreció tres veces al día (06:00, 12:00 y 18:00 h). La dieta fue integral y se formuló de acuerdo al NRC (2007) para cubrir los requerimientos nutricionales de corderos de engorda en etapa de finalización (EM= 2.8 Mcal/kg de MS y 16 % de proteína cruda).

### **3.4. Evaluación de las variables de estudio**

#### **3.4.1. Variables climáticas y fisiológicas**

Las variables evaluadas fueron temperatura ambiental (TA), humedad relativa (HR) e índice de temperatura-humedad (ITH). Las primeras dos se midieron con un termohigrómetro (Termotraker, Culiacán, Sinaloa, México) que se colocó en el centro del área experimental a la altura de la cabeza de los animales. Este dispositivo se programó para que automáticamente estuviera registrando cada 20 min tanto TA y HR durante los 40 días de prueba. Al finalizar, los datos se descargaron en Excel® para calcular el ITH de acuerdo con la fórmula propuesta por Marai et al. (2007):  $ITH = TA - \{(0.31 - 0.31*HR) (TA - 14.4)\}$ , así como los valores promedio, máximos y mínimos por hora.

Por otra parte, las variables fisiológicas evaluadas fueron frecuencia respiratoria (FR), temperatura rectal (TR) y termografía de superficie en diferentes regiones corporales, las cuales se midieron tres veces al día (06:00, 12:00 y 18:00 h), en los días 1, 10, 20, 30 y 40 de prueba en corral. Se cuantificó el número de movimientos intercostales por minuto para determinar la FR apoyándose de un contador manual y un cronómetro digital. Luego, los animales se sujetaron para introducir en el recto un termómetro digital (FlashCheck® Needle Probe Thermometer Modelo No. 11089-01) con el fin de obtener la TR. Finalmente, se tomaron tres fotos a cada ovino (frontal, lateral y caudal) con una cámara termográfica (Fluke Ti401 PRO 9 Hz), las cuales se descargaron en la computadora para ser analizadas con el software Smart View® Clasic 4.4, permitiendo delimitar las siguientes áreas de la superficie corporal de los

animales y así registrar su respectiva temperatura promedio: cuello, paleta, lomo, vientre, costilla, espacio intercostal, anca, pierna, miembro anterior y posterior, ojo, oreja, hocico, frontal, nasal, anillo rectal, espacio perianal o espacio perivulvar, y vulva o testículos).

### **3.4.2. Comportamiento productivo**

Todos los ovinos se pesaron individualmente al inicio y final de la prueba experimental. La cantidad de alimento ofrecido y rechazado también se registró diariamente por las mañanas para determinar el consumo de alimento. Con esta información se calculó la ganancia de peso total (GPT) y diaria ( $GDP = GPT / \text{días de engorda}$ ), así como la eficiencia alimenticia ( $GDP / \text{consumo de alimento}$ ).

### **3.4.3. Características de la canal y rendimiento de cortes primarios**

Todos los ovinos se sacrificaron por el método de degüelle descrito en la NOM-033-SAG/ZOO-2014 en el Taller de Carnes del mismo instituto, específicamente a las 24 h post-registrar el peso final de la prueba de comportamiento productivo y después de haber sido ayunados 12 h previas al sacrificio. En cada cuerpo ovino, se retiraron todos los despojos comestibles (cabeza, corazón, pulmón, hígado, riñones, bazo, complejo estomacal e intestinos) y no comestibles (piel y patas) para registrar su peso individual, así como el de la canal caliente (PCC). El tracto gastrointestinal completo se pesó lleno y vacío para calcular su contenido, el cual se restó al peso al sacrificio para registrar el peso vivo vacío (PVV) de los animales. Los pesos de los órganos, despojos y grasas viscerales se expresaron como un porcentaje del PVV, mientras que el peso de la grasa KPH como un porcentaje del PCC. El rendimiento en canal también se calculó expresando el PCC como un porcentaje del PVV.

Posteriormente, las canales se colocaron en un cuarto frío a 4 °C por 24 h, registrándose al final de este tiempo de enfriamiento el peso de la canal fría (PCF), así como las medidas zoométricas siguiendo la metodología propuesta por Avendaño-Reyes et al. (2012): largo de la canal, profundidad y perímetro del tórax, largo y perímetro de pierna. Las canales también se cortaron a través de la línea media y el

lado derecho se utilizó para medir entre la 12va y 13va costilla el espesor de grasa dorsal con un vernier, así como el área del músculo *Longissimus thoracis* (LT) usando la técnica de plana de puntos de 64 mm<sup>2</sup>. Finalmente, este mismo lado de la canal se pesó y se diseccionó para registrar los pesos de los cortes primarios descritos por Avendaño-Reyes et al. (2011), es decir: cuello, lomo largo, paleta, costilla, lomo plano, faldilla y pierna; los rendimientos totales por separado del miembro anterior y posterior también fue calculado sumando los cortes primarios que conforman cada uno de los miembros. Los rendimientos de cada uno de los cortes primarios se calcularon expresando el peso de cada uno como porcentaje del peso de la media canal.

#### **3.4.4. Evaluación de la calidad de la carne**

Se registró el pH de la canal a los 45 min y 24 h *postmortem* introduciendo en el lomo (12 y 13va costilla) un electrodo provisto de navaja conectado a un medidor de pH (HI 98140, Hanna instruments Digital, Woonsocket, RI). Posteriormente, se realizó la disección del músculo *Longissimus thoracis* (entre la 4ta y 12va costilla), y se empaquetó al vacío para madurarlo durante 7 d a una temperatura entre 0 y 4 °C. Finalizado este periodo, los músculos se desempaquetaron y oxigenaron durante 30 min antes de proceder a realizar las siguientes mediciones: pH, variables de color, esfuerzo al corte, pérdida de peso por cocción y capacidad de retención de agua. Con excepción de pérdida por cocción y pH (duplicado), el resto de las variables se midieron por triplicado.

Las variables de color se midieron con un colorímetro portátil Minolta (CR-400, Kónika Minolta Sensing, Japon), el cual se colocó en la superficie del músculo después de retirar la grasa superficial registrándose luminosidad ( $L^*$ ), color rojizo ( $a^*$ ), color amarillento ( $b^*$ ), chroma ( $C^*$ ) y ángulo hue ( $h^*$ ). Posteriormente, se tomó una muestra de 5 g de músculo que se licuó (homogenizó) durante un minuto con 25 mL de agua para registrar el pH con un analizador portátil en líquidos (HI-2210, Hanna Instruments Digital, Woonsocket, RI). Finalmente, el músculo se cortó transversalmente en tres secciones, la primera se usó para evaluar la capacidad de retención de agua (CRA) y la segunda para pérdida de peso por cocción y esfuerzo al corte. La tercera sección quedó como respaldo por si se requería rectificar alguna prueba. La CRA se determinó

siguiendo la metodología propuesta por Sutton et al. (1997), la cual consiste en pesar 3 g de carne y suspenderla sobre tela porosa dentro de tubos de 50 mL; estos se centrifugaron y nuevamente se pesó la carne. Así, la CRA se calculó expresando el peso de la carne post-centrifugación como un porcentaje del peso inicial de la carne. La pérdida de peso por cocción se obtuvo registrando el peso de un bistec antes y después de cocinarlo en una parrilla eléctrica (Cook Master Oster, modelo 3222-3, Mississauga, Ontario, Canadá) hasta que alcanzó una temperatura interna de 71 °C. La diferencia de pesos del bistec se expresó como un porcentaje del peso inicial del bistec para calcular el porcentaje de pérdida de peso por cocción. Este mismo bistec se enfrió a temperatura ambiente para evaluar el esfuerzo al corte con un equipo de corte Warner-Bratzler (Salter Model 235, Compañía manufacturera GR, Manhattan, KS, USA). Se obtuvieron por bistec tres cubos prismáticos de 1.27 cm, y se acomodaron en el equipo de corte de tal manera que las fibras musculares quedaron perpendiculares a la navaja de corte.

### **3.5. Análisis estadístico**

La información colectada se analizó con los procedimientos GLM y MIXED del paquete estadístico SAS (versión 9.4). Las variables de comportamiento productivo, características de la canal, despojos de la canal, cortes primarios y calidad de la carne se sometieron análisis de varianza aplicando un modelo que incluyó como efectos fijos bloque, suplementación de DT, sexo y la interacción DT × sexo. Las variables fisiológicas se analizaron con el mismo modelo, pero incluyendo la hora del día como un factor de medición repetida en el tiempo. En este último modelo se probaron diferentes estructuras de covarianza y se seleccionó la que mejor ajustó basado en los valores más cercanos a cero de los estimadores AIC y BIC. Las medias se compararon a través de la opción PDIFF, declarándose diferencias cuando  $P \leq 0.05$  y tendencias cuando  $P > 0.05$  y  $\leq 0.10$ . Adicionalmente, en variables fisiológicas, cuando el tiempo no interaccionó con los otros factores principales, se corrieron polinomios ortogonales (lineal y cuadrático a  $P \leq 0.05$ ).

## IV. RESULTADOS

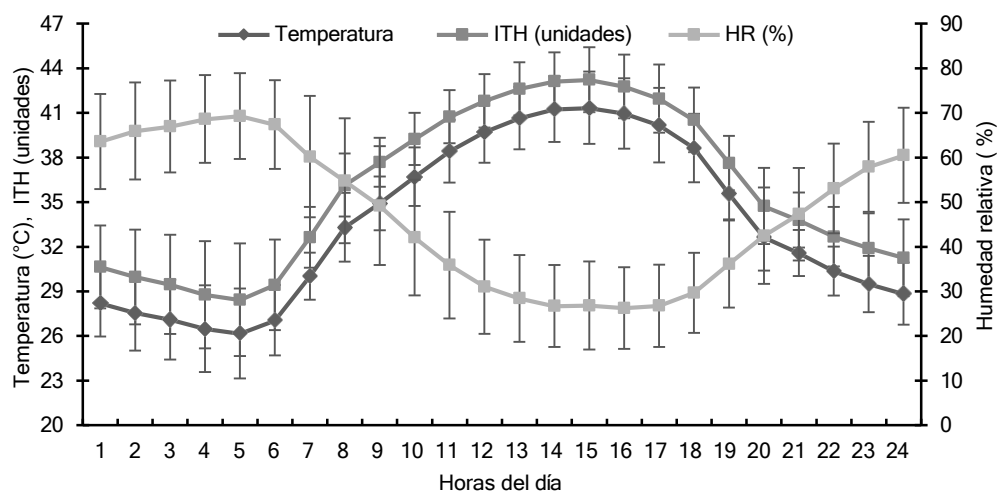
### 4.1. Condiciones climáticas

La TA durante el período de estudio osciló entre los 25.9 y 41.8 °C, mientras que la HR entre 23.8 y 72.3 % (Cuadro 2). En general, se registró una TA y un ITH promedio de 33.6 °C y 35.9 unidades, respectivamente.

**Cuadro 2.** Medias  $\pm$  desviaciones estándar de las variables climáticas registradas durante la prueba en corral (ITH= Índice de temperatura-humedad).

Variables climáticas (media $\pm$ desviación estándar)			
	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	ITH (unidades)
Promedio	33.64 $\pm$ 1.41	47.41 $\pm$ 8.50	35.89 $\pm$ 1.69
Máximo	41.76 $\pm$ 2.24	72.32 $\pm$ 8.70	43.55 $\pm$ 2.03
Mínimo	25.87 $\pm$ 2.95	23.85 $\pm$ 7.34	28.03 $\pm$ 3.70

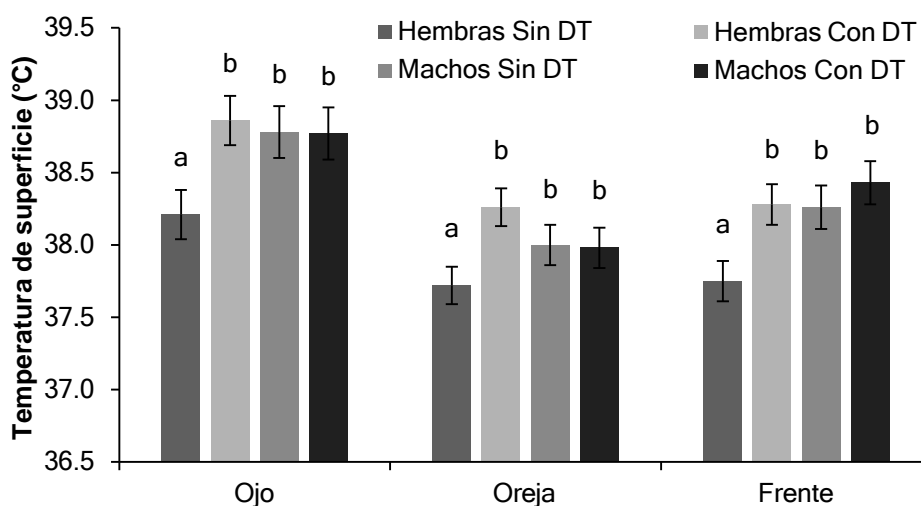
La variación circadiana de las variables climáticas mostró que la TA diurna se mantuvo por arriba de los 30 °C y se prolongó hasta las 22:00 h (Figura 1), mientras que el ITH no descendió a un nivel de confort térmico (<22.2 unidades) en ningún horario del día. Los ITH de las horas de la madrugada fueron los más bajos (28.5 y 31 unidades).



**Figura 1.** Variación circadiana de la temperatura, humedad relativa (HR) e índice de temperatura-humedad (ITH).

## 4.2. Variables fisiológicas

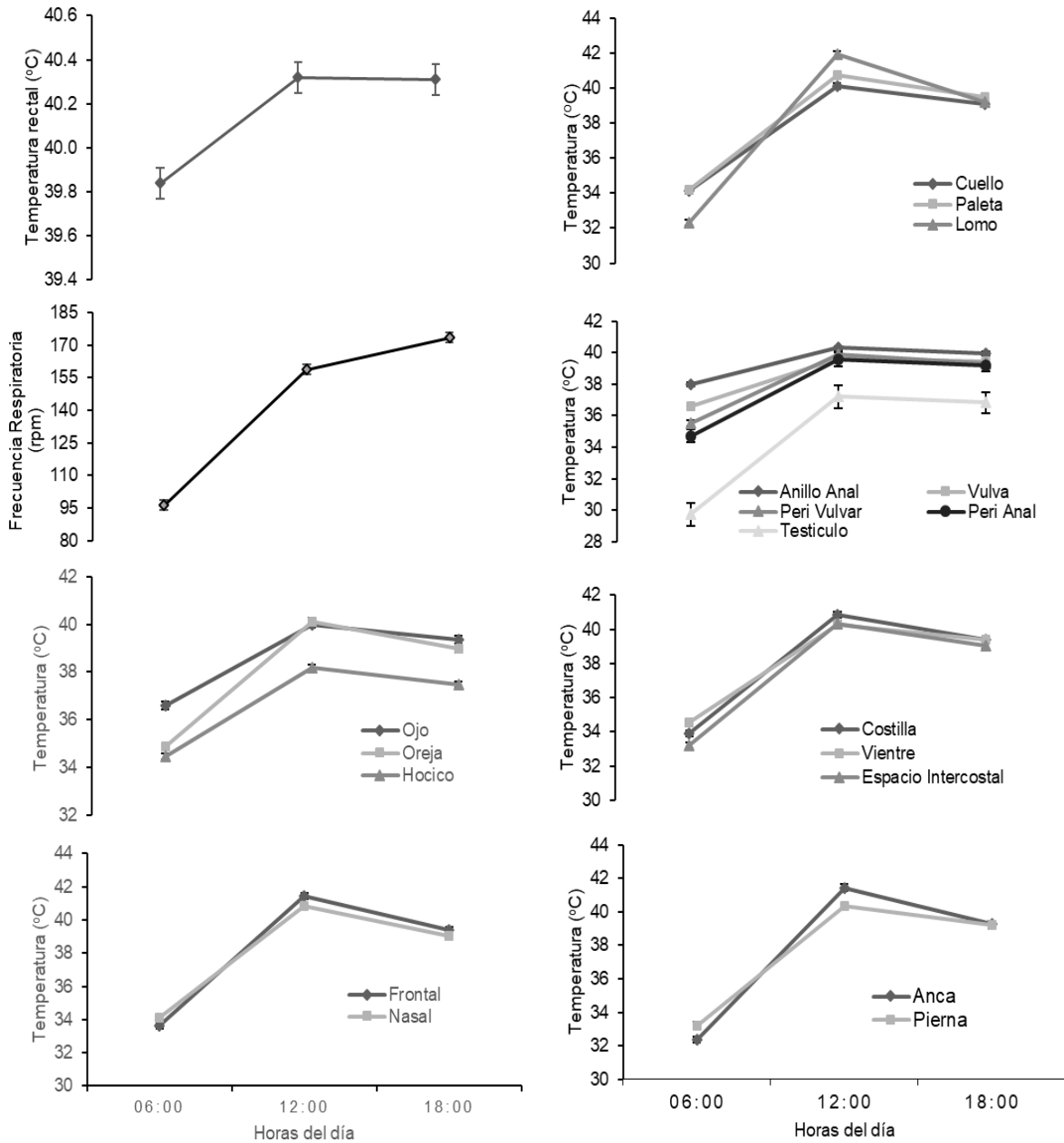
Las interacciones DT × sexo × hora del día, DT × hora del día y sexo × hora del día no afectaron ( $P > 0.05$ ) ninguna de las variables fisiológicas. Por su parte, la interacción DT × sexo afectó ( $P < 0.01$ ) solamente algunas temperaturas de superficie corporal de la cabeza, ya que el DT aumentó las temperaturas de ojo, oreja y frente en las hembras, pero no en los machos (Figura 2).



**Figura 2.** Temperatura superficial de ojo, oreja y frente de corderas y corderos Dorper × Katahdin suplementados con difosfato de tiamina bajo condiciones de estrés por calor.

Basado en los factores principales, la suplementación con DT no modificó ( $P \geq 0.11$ ) la TR y la FR, así como las temperaturas de superficie de hocico, nasal, vientre y pierna (Cuadro 3). Sin embargo, el DT aumentó ( $P \leq 0.05$ ) las temperaturas de superficie corporal en el cuello, la paleta, el lomo, el anca, el miembro anterior, la vulva, los testículos, y los espacios peri-vulvar y peri-anal, asimismo, tendió ( $P \leq 0.09$ ) a incrementarlas en la costilla, el espacio intercostal y el miembro posterior. En el caso de efecto del sexo, los machos comparados con las hembras registraron mayor ( $P \leq 0.04$ ) FR y las temperaturas de superficie en la frente, la nasal, la costilla y el anillo anal, así como tendieron a aumentar ( $P = 0.08$ ) las temperaturas del vientre y el miembro anterior. La TR y el resto de las temperaturas de superficie corporal no fueron

afectadas ( $P \geq 0.11$ ) por el sexo. En general, la hora del día afectó ( $P > 0.01$ ) a todas las variables fisiológicas, observándose un efecto cuadrático conforme las horas del día avanzaron de las 6:00 a las 18:00 h, siendo los valores más bajo en el horario de la mañana (Figura 3).



**Figura 3.** Efectos cuadráticos de las variables fisiológicas de ovinos Dorper × Katahdin como las horas del día avanzaron de 0600 a 1800 h bajo condiciones de estrés por calor de verano.

**Cuadro 3.** Efecto del difosfato de tiamina (DT) sobre las variables fisiológicas de ovinos Dorper × Katahdin engordados bajo condiciones de estrés por calor.

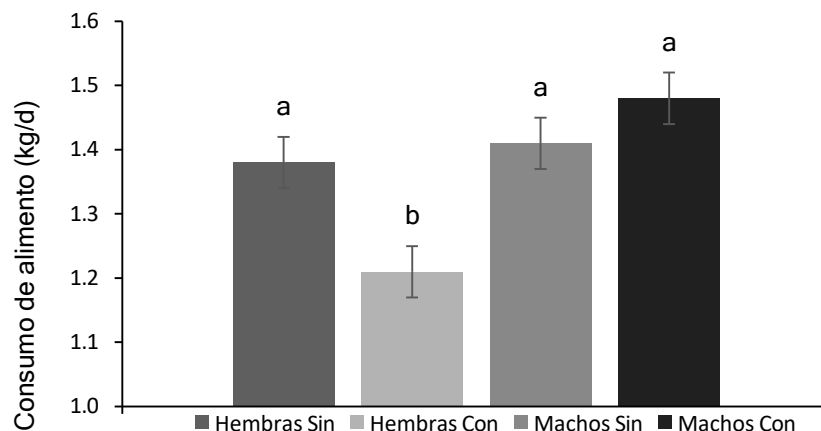
Variables	Difosfato Tiamina <sup>a</sup>			Sexo			Valores de <i>P</i> <sup>b</sup>		
	Sin	Con	E.E.	Macho	Hembra	E.E.	DT	Sexo	Hora
Temperatura rectal (°C)	40.18	40.14	0.03	40.15	40.18	0.03	0.79	0.83	<0.01
Frecuencia respiratoria (rpm)	142.01	143.75	1.77	137.14	148.62	1.77	0.58	<0.01	<0.01
Temperatura de superficie (°C)									
Ojo	38.49	38.81	0.12	38.78	38.53	0.13	0.09	0.18	<0.01
Oreja	37.86	38.12	0.09	37.99	37.99	0.10	0.07	0.98	<0.01
Hocico	36.67	36.74	0.12	36.76	36.66	0.12	0.68	0.55	<0.01
Frente	38.00	38.36	0.10	38.35	38.02	0.10	0.03	0.03	<0.01
Nasal	37.91	38.14	0.11	38.20	37.84	0.11	0.15	0.03	<0.01
Cuello	37.56	38.01	0.12	37.91	37.66	0.12	0.02	0.17	<0.01
Paleta	37.93	38.36	0.15	38.29	38.00	0.15	0.06	0.19	<0.01
Lomo	37.64	38.02	0.13	37.98	37.69	0.13	0.05	0.13	<0.01
Costilla	37.88	38.25	0.15	38.30	37.83	0.15	0.09	0.04	<0.01
Vientre	37.87	38.28	0.17	38.30	37.85	0.17	0.11	0.08	<0.01
Espacio Intercostal	37.31	37.72	0.15	37.64	37.39	0.15	0.07	0.25	<0.01
Anca	37.49	37.91	0.12	37.84	37.56	0.12	0.02	0.11	<0.01
Pierna	37.34	37.81	0.20	37.80	37.34	0.20	0.11	0.12	<0.01
Miembro anterior	37.22	37.66	0.11	37.59	37.29	0.11	0.01	0.08	<0.01
Miembro posterior	37.26	37.59	0.13	37.58	37.27	0.13	0.09	0.12	<0.01
Anillo anal	39.20	39.67	0.11	39.63	39.24	0.11	<0.01	0.02	<0.01
Vulva	38.21	38.92	0.09	---	---	---	<0.01	---	<0.01
Espacio peri-vulvar	37.86	38.66	0.13	---	---	---	<0.01	---	<0.01
Espacio peri-anal	37.22	38.44	0.20	---	---	---	<0.01	---	<0.01
Testículo	33.79	35.41	0.25	---	---	---	0.01	---	<0.01

<sup>a</sup> Ovinos alimentados con 0 (Sin) o 250 mg (Con) de difosfato de tiamina por kg de alimento.

<sup>b</sup> Las interacciones DT × sexo × hora, DT × hora y sexo × hora no fueron significativas a *P*<0.05.

### 4.3. Comportamiento productivo

La interacción DT × sexo solo afectó ( $P = 0.02$ ) el consumo de alimento donde el DT lo redujo en hembras y no en machos (Figura 4). El DT no afectó ( $P \geq 0.30$ ) el peso final, GPT, GDP y eficiencia alimenticia, mientras que esas variables tuvieron medias más altas ( $P < 0.01$ ) en los machos que en las hembras (Cuadro 4).



**Figura 4.** Consumo diario de alimento de corderas y corderos Dorper × Katahdin suplementados con difosfato de tiamina (DT) bajo condiciones de estrés por calor.

**Cuadro 4.** Efecto del difosfato de tiamina (DT) sobre el comportamiento productivo en corral de ovinos Dorper × Katahdin engordados bajo condiciones de estrés por calor.

Variables <sup>c</sup>	Difosfato de Tiamina <sup>a</sup>			Sexo			Valor de <i>P</i>	
	Sin	Con	E.E.	Macho	Hembra	E.E.	DT	Sexo
Peso inicial (kg)	31.50	31.54	0.40	31.63	31.41	0.40	0.94	0.70
Peso final (kg)	40.16	40.53	0.67	42.19	38.50	0.67	0.70	<0.01
GDP (kg/d)	0.22	0.23	0.01	0.26	0.18	0.01	0.55	<0.01
GPT (kg) <sup>b</sup>	8.66	8.99	0.41	10.56	7.09	0.41	0.58	<0.01
CA (kg)	1.39	1.34	0.03	1.45	1.29	0.03	0.27	<0.01
EA (g/kg)	155.5	166.1	6.89	182.8	138.8	6.89	0.30	<0.01

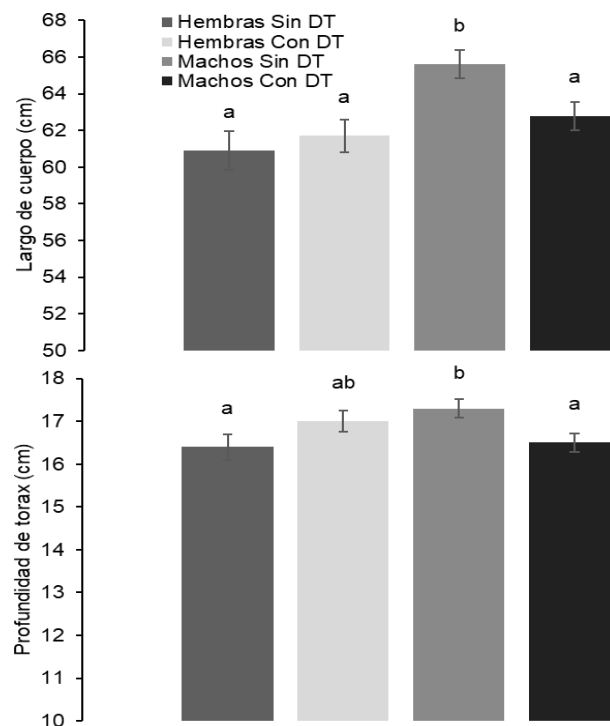
<sup>a</sup> Ovinos alimentados con 0 (Sin) o 250 mg (Con) de difosfato de tiamina / kg de alimento.

<sup>b</sup> La interacción DT × Sexo fue significativa ( $P = 0.02$ ) solamente para consumo de alimento.

<sup>c</sup> GDP= Ganancia diaria de peso, GPT= Ganancia de peso total, CA=Consumo de alimento, EA= Eficiencia alimenticia.

#### 4.4. Características de la canal

La interacción DT × sexo afectó solamente algunas de las variables de canal, específicamente el DT redujo ( $P = 0.02$ ) la profundidad del tórax y tendió ( $P = 0.07$ ) a disminuir el largo de la canal en corderos, pero no en corderas (Figura 5). Por su parte, la suplementación de DT, independientemente del sexo, disminuyó el porcentaje de grasa mesentérica ( $P = 0.03$ ), sin afectar ( $P \geq 0.28$ ) los porcentajes de las grasas KPH y omental (Cuadro 5). El resto de las características de la canal no variaron ( $P \geq 0.50$ ) con la suplementación del DT (peso al sacrificio, PVV, PCC, PCF, rendimiento en canal, perímetro torácico y de pierna, largo de pierna, área del MLT, y deposición de grasa corporal). En general, los machos en comparación de las hembras tuvieron mayor ( $P \leq 0.03$ ) PVV y largo de la canal, pero menor ( $P < 0.01$ ) rendimiento en canal sin diferencias ( $P \geq 0.83$ ) en PCC y PCF. Adicionalmente, las hembras mostraron mayor ( $P < 0.01$ ) espesor de grasa dorsal y deposición de grasa KPH y mesentérica, así como una tendencia ( $P = 0.10$ ) a depositar más grasa omental.



**Figura 5.** Profundidad del tórax y largo del cuerpo de corderas y corderos Dorper × Katahdin suplementados con difosfato de tiamina (DT) bajo estrés por calor.

**Cuadro 5.** Efecto de difosfato de tiamina (DT) sobre las características de la canal de ovinos Dorper × Katahdin engordados bajo condiciones de estrés por calor.

Variables	Difosfato Tiamina <sup>a</sup>			Sexo			Valores de <i>P</i>	
	Sin	Con	E.E.	Macho	Hembra	E.E.	DT	Sexo
Peso vivo vacío (kg)	33.71	34.09	0.71	35.10	32.70	0.71	0.71	0.03
Peso de canal caliente (kg)	18.92	19.08	0.44	19.39	18.61	0.44	0.80	0.23
Peso de canal fría (kg)	17.91	18.47	0.47	18.74	17.63	0.48	0.42	0.14
Rendimiento en canal (%)	48.86	48.55	0.38	47.66	49.74	0.38	0.57	<0.01
Área del músculo <i>LT</i> (cm <sup>2</sup> ) <sup>c</sup>	17.87	18.22	1.41	18.65	17.44	1.43	0.86	0.57
Largo de la canal (cm) <sup>b</sup>	63.27	62.27	0.63	64.22	61.31	0.64	0.28	0.01
Profundidad del tórax (cm) <sup>b</sup>	16.82	16.74	0.17	16.88	16.68	0.17	0.73	0.47
Perímetro del tórax (cm)	67.59	68.34	0.67	68.85	67.09	0.68	0.44	0.11
Largo de pierna (cm)	32.17	31.39	0.78	32.50	31.05	0.79	0.49	0.23
Perímetro de pierna (cm)	42.83	42.96	0.73	42.25	43.54	0.74	0.91	0.26
Espesor de grasa dorsal (mm)	3.00	2.82	0.40	1.80	4.02	0.40	0.76	<0.01
Grasa KPH (%) <sup>d</sup>	2.25	2.27	0.11	1.96	2.56	0.11	0.90	<0.01
Grasa omental (%) <sup>e</sup>	2.98	3.19	0.17	2.87	3.30	0.17	0.39	0.10
Grasa mesentérica (%) <sup>e</sup>	2.30	1.80	0.14	1.69	2.41	0.14	0.03	<0.01

<sup>a</sup> Ovinos alimentados con 0 (Sin) o 250 mg (Con) de difosfato de tiamina/kg de alimento.

<sup>b</sup> La interacción DT x Sexo fue significativa ( $P \leq 0.05$ ) solamente para largo de canal y perímetro torácico.

<sup>c</sup> LT = *Longissimus thoracis*.

<sup>d</sup> KPH = Grasa de riñón-pélvica-corazón, expresado como el porcentaje del peso de la canal caliente.

<sup>e</sup> Los pesos fueron calculados como porcentaje del peso vivo vacío.

#### 4.5. Despojos de la canal

La interacción de DT × sexo no afectó ( $P \geq 0.19$ ) los pesos de los despojos, órganos y vísceras expresados como un porcentaje del PVV (Cuadro 6). No obstante, el DT tendió ( $P = 0.09$ ) a incrementar el porcentaje de testículos sin causar cambios ( $P \geq 0.14$ ) en el resto de las variables. Por su parte, el sexo no afectó ( $P \geq 0.14$ ) los porcentajes de sangre, piel, pulmones, hígado, corazón, bazo, rumen e intestinos; sin embargo, los machos mostraron mayores ( $P \leq 0.04$ ) porcentajes de cabeza y riñones, además una tendencia ( $P = 0.08$ ) aumentar el peso de las patas en comparación de las hembras.

**Cuadro 6.** Efecto del difosfato de tiamina (DT) sobre los pesos de despojos y órganos expresados como un porcentaje del peso vivo vacío de ovinos Dorper × Katahdin engordados bajo condiciones de estrés por calor.

Variables (%) <sup>b</sup>	Difosfato Tiamina <sup>a</sup>			Sexo			Valores de $P^c$	
	Sin	Con	E.E.	Macho	Hembra	E.E.	DT	Sexo
Cabeza	5.55	5.74	0.17	6.10	5.19	0.17	0.44	<0.01
Sangre	4.45	4.39	0.12	4.55	4.30	0.12	0.72	0.17
Patas	2.60	2.52	0.04	2.61	2.51	0.04	0.14	0.08
Piel	11.30	11.36	0.31	11.18	11.47	0.31	0.90	0.52
Riñones	0.31	0.30	0.01	0.32	0.29	0.01	0.35	0.04
Pulmones	1.51	1.42	0.07	1.50	1.44	0.07	0.35	0.51
Hígado	2.16	2.12	0.05	2.20	2.09	0.05	0.50	0.14
Corazón	0.40	0.40	0.01	0.39	0.41	0.01	0.76	0.36
Bazo	0.23	0.23	0.04	0.23	0.23	0.04	0.95	0.98
Rumen vacío	3.32	3.12	0.14	3.35	3.09	0.14	0.34	0.22
Intestinos	2.14	2.29	0.13	2.29	2.13	0.13	0.45	0.43
Testículos	1.73	1.85	0.04	---	---	---	0.09	---

<sup>a</sup> Ovinos alimentados con 0 (Sin) o 250 mg (Con) de difosfato de tiamina/kg de alimento.

<sup>b</sup> Pesos expresados como un porcentaje del peso vivo vacío.

<sup>c</sup> La interacción DT x sexo no afectó a ninguna variable de estudio ( $P > 0.05$ ).

#### 4.6. Rendimientos de cortes primarios

La interacción DT × sexo ( $P \geq 0.25$ ), así como el DT como factor principal ( $P \geq 0.29$ ), no afectaron los rendimientos de los cortes primarios (Cuadro 7). Por efecto de sexo, los machos mostraron mayor ( $P < 0.01$ ) rendimiento de la paleta con la espaldilla que las hembras. Además, los machos tendieron ( $P = 0.10$ ) a tener mayor rendimiento del tren anterior y cuello a diferencia de las hembras, pero la tendencia fue inversa en los rendimientos del tren posterior ( $P = 0.10$ ) y el lomo plano ( $P = 0.06$ ).

**Cuadro 7.** Efecto del difosfato de tiamina (DT) sobre los rendimientos de cortes primarios de ovinos Dorper × Katahdin engordados bajo condiciones de estrés por calor.

Variables (%) <sup>b</sup>	Difosfato Tiamina <sup>a</sup>			Sexo			Valores de $P^c$	
	Sin	Con	E.E.	Macho	Hembra	E.E.	DT	Sexo
Tren anterior	52.86	52.65	0.62	53.58	51.93	0.63	0.81	0.10
Cuello	3.68	3.49	0.13	3.77	3.41	0.14	0.35	0.10
Paleta/espaldilla	31.05	31.61	0.41	32.47	30.18	0.42	0.35	<0.01
Lomo largo	8.11	7.43	0.43	7.76	7.77	0.44	0.29	0.99
Costilla	10.02	10.11	0.38	9.54	10.56	0.39	0.87	0.11
Tren posterior	47.14	47.35	0.62	46.42	48.07	0.63	0.81	0.10
Pierna	33.23	33.52	0.47	33.29	33.46	0.48	0.67	0.82
Lomo plano	8.96	8.90	0.40	8.33	9.53	0.40	0.92	0.06
Falda	4.96	4.93	0.18	4.80	5.08	0.18	0.91	0.31

<sup>a</sup> Ovinos alimentados con 0 (Sin) o 250 mg (Con) de difosfato de tiamina/kg de alimento.

<sup>b</sup> Pesos expresados como un porcentaje del peso de la media canal.

<sup>c</sup> La interacción Dt x sexo no afectó a ninguna variable de estudio ( $P \geq 0.25$ ).

#### 4.7. Calidad de la carne

Tanto la interacción DT × sexo ( $P \geq 0.11$ ) y el efecto principal de DT ( $P \geq 0.16$ ), no afectaron ninguna de las variables de calidad de la carne. La carne de los machos tuvo menor ( $P = 0.04$ ) y mayor ( $P = 0.01$ ) pH a los 45 min y 24 h *postmortem*, respectivamente, comparado con la carne de las hembras. En carne madurada por 7

d, el sexo afectó solamente los valores de  $a^*$  y  $C^*$ , siendo  $a^*$  mayor ( $P = 0.05$ ) y  $C^*$  ( $P = 0.09$ ) tendiendo a ser mayor en machos que en hembras. El resto de las variables de color, así como los porcentajes de CRA, pérdida de peso por cocción y esfuerzo al corte no variaron ( $P \geq 0.14$ ) debido a sexo.

**Cuadro 8.** Efecto del difosfato de tiamina (DT) sobre la calidad de la carne de ovinos Dorper × Katahdin engordados bajo condiciones de estrés por calor.

Variables (%)	Difosfato Tiamina <sup>a</sup>			Sexo			Valores de $P^b$	
	Sin	Con	E.E.	Macho	Hembra	E.E.	DT	Sexo
<i>pH postmortem</i>								
45 min	6.42	6.43	0.04	6.36	6.49	0.04	0.85	0.04
24 h	5.89	5.87	0.02	5.94	5.82	0.02	0.70	0.01
Carne madurada por 7 d								
pH	5.62	5.53	0.04	5.62	5.54	0.04	0.16	0.23
$a^{*c}$	21.95	22.04	0.25	22.42	21.57	0.25	0.80	0.05
$b^{*d}$	7.02	7.46	0.46	7.47	7.01	0.46	0.50	0.51
$L^{*e}$	41.25	41.72	0.73	42.28	40.69	0.74	0.66	0.17
$H^{*f}$	17.85	18.78	0.85	18.61	18.01	0.87	0.45	0.64
$C^{*g}$	23.09	23.34	0.35	23.70	22.73	0.35	0.61	0.09
CRA (%) <sup>h</sup>	90.33	89.70	0.73	90.87	89.17	0.74	0.54	0.14
EC (kg/cm <sup>3</sup> ) <sup>i</sup>	3.76	4.02	0.15	3.89	3.90	0.15	0.26	0.95
PPC (%) <sup>j</sup>	22.15	22.19	2.02	21.21	23.14	2.05	0.99	0.53

<sup>a</sup> Ovinos alimentados con 0 (Sin) o 250 mg (Con) de difosfato de tiamina/kg de alimento.

<sup>b</sup> La interacción DT x sexo no afectó a ninguna variable de estudio ( $P \geq 0.25$ ).

<sup>c</sup>  $a^*$ =Rojo, <sup>d</sup>  $b^*$ =Amarillo, <sup>e</sup>  $L^*$ =Luminosidad, <sup>f</sup>  $H^*$ Angulo Hue, <sup>g</sup>  $C^*$ Cromo.

<sup>h</sup> CRA= Capacidad de retención de agua, <sup>i</sup> EC= Esfuerzo al corte, y <sup>j</sup> PPC= Pérdida de peso por cocción.

## V. DISCUSIÓN

### 5.1. Condiciones ambientales

Los ovinos estuvieron expuestos al ambiente caliente natural que se presenta en la época de verano de las regiones desérticas. La TA promedio superó los 30 °C, límite superior de la zona termoneutral señalada para ovinos de pelo (Vicente-Pérez et al., 2020), y en consecuencia el ambiente fue de EC. De acuerdo con Marai et al. (2007), los ovinos se encuentran en un ambiente de EC cuando las combinaciones de Ta y HR producen un ITH >22.2 unidades, y se clasifica como severo extremo si alcanza o supera las 25.6 unidades. Por lo tanto, los ovinos del presente estudio exhibieron EC de tipo severo extremo considerando que los promedios de Ta e ITH fueron 33.6 °C y 35.9 unidades, respectivamente. Además, la exposición a este ambiente fue continuo a través del día al haber permanecido el ITH fluctuando entre 29 (madrugada) y 43 unidades (tarde). Se conoce que estas condiciones ambientales reducen el crecimiento, la eficiencia alimenticia y la calidad de la carne de los ovinos de pelo de engorda al disponer parcialmente de la energía de crecimiento para llenar los requerimientos de energía de mantenimiento que aumentan por la activación de los mecanismos de termorregulación evaporativos (Macías-Cruz et al., 2020). Esta situación hace necesario la implementación de estrategias de mitigación del EC en ovinos de pelo que se encuentran en engorda.

### 5.2. Efectos de difosfato de tiamina

Las altas Ta del verano registradas en este estudio causaron hipertermia en los ovinos sin llegar a comprometer su sobrevivencia, ya que mostraron una TR promedio ligeramente por encima del rango normal (40.1 vs. 38.3 a 39.9 °C; Marai et al., 2007). La capacidad de termorregulación de estos ovinos estresados por calor no se modificó con la adición de DT en la dieta de engorda, aunque si favoreció que aumentaran las pérdidas de calor corporal por radiación en la piel, lo cual se asocia con el efecto vasodilatador periférico que promueve la tiamina (Farah et al., 2022). Las superficies corporales que rodean a los genitales (escroto, vulva, espacio peri-anal y peri-vulvar)

fueron las regiones donde se identificó mayor pérdida de calor por efecto del DT (0.7 y 1.6 °C), seguido del tronco corporal y los miembros (0.37 a 0.47 °C). Esta diferencia en las pérdidas de calor de acuerdo con las regiones se debe a que la zona caudal (Stelletta et al., 2017) y los testículos (Barragan et al., 2023) cuentan con mayor vascularización y la piel es más delgada que en cualquier otra zona del cuerpo. Así, el efecto vasodilatador del DT se vio más reflejado en estas zonas del cuerpo y, en consecuencia, el aumento en las pérdidas de calor por radiación. En adición, el DT aumentó las pérdidas de calor corporal en las regiones de los ojos, frente y orejas de las corderas, pero no en los corderos quienes registraron temperaturas en esas regiones similares a las observadas en corderas alimentadas con DT. Los corderos secretan testosterona, una hormona reproductiva con función vasodilatadora en el cerebro de acuerdo con estudios conducidos en modelos murinos (Shvareva et al., 1998), lo que podría explicar porque el DT mejoró la disipación de calor corporal en la parte frontal de la cabeza de corderas, pero no en los corderos donde dicha función fue realizada posiblemente por la testosterona. Cabe mencionar que no se encontraron estudios previos que hayan evaluado el efecto de la tiamina en la temperatura de la superficie corporal.

El presente estudio propone la adición en la dieta del cofactor glucogénico DT como una estrategia para reducir el impacto del EC sobre el crecimiento, las características de la canal y la calidad de la carne, sin comprometer la capacidad de termorregulación, en los corderos y las corderas engordados intensivamente durante la época de verano en una región desértica. Sin embargo, los hallazgos de esta investigación evidenciaron que, si bien este modificador del metabolismo de energía no afecta la capacidad termorreguladora de los ovinos de pelo de engorda (indistintamente del sexo), tampoco produce beneficios en la ganancia de peso, eficiencia alimenticia, características de la canal de importancia económica (p.e. peso y rendimiento en canal, área del músculo LD), rendimiento de cortes primarios o calidad de la carne. En general, estos resultados coinciden mayormente con los reportados por Cisneros et al. (2022) y Castillo-Cristóbal. (2023), quienes en el mismo sitio de estudio evaluaron la adición de DT a la dieta de finalización en corderos Dorper x Katahdin como una estrategia de mitigación de los efectos negativos del EC

registrado en verano. Similarmente en condiciones termoneutrales, tanto corderos en crecimiento (Kalyesubula et al., 2021a) y ovejas adultas (Kalyesubula et al., 2021b) de la raza Afec-Assaf, así como corderos en finalización de la raza Mehraban (Rowghani et al., 2006), no mostraron cambios en el comportamiento productivo por recibir DT inyectado o en la dieta. Cabe mencionar que este cofactor glucogénico tampoco mejoró el comportamiento productivo (Rosas, 2018; Silzell et al., 2002), características de la canal y calidad de la carne en becerros de engorda (Rosas, 2018). En general, los resultados de este estudio y los reportados previamente sugieren que, los ajustes en el metabolismo energía ejercidos por el DT en rumiantes no son tan fuertes como para actuar como promotor de crecimiento. En línea con esto, se ha sugerido que el DT en ovinos funciona más como un redistribuidor de energía corporal que como un proveedor de sustrato energético para la formación de masa muscular (Kalyesubula et al., 2021b).

Por otra parte, la adición del DT en la dieta de engorda redujo el consumo de alimento en corderas, pero no en corderos bajo las condiciones de EC que se realizó el estudio. Similarmente, algunos trabajos previos en corderos y becerros castrados reportaron una reducción en el consumo de alimento por suplementar tiamina a dosis mayores a 100 mg/d/animal (Neville et al., 2010; Zinn et al., 1987), mientras que en toretes no (Rosas, 2018). Dado que, independientemente del sexo, el DT no cambió la eficiencia alimenticia, la tasa de crecimiento, el peso de canal, la formación de músculo (área del músculo LD) y la deposición de grasa interna (KPH) y de cobertura (espesor de grasa dorsal), el resultado de consumo de alimento sugiere un efecto sustitutivo de DT en corderas, pero no en corderos estresados por calor cuando se adiciona el compuesto a sobredosis de 300 mg/d/animal. Nuestros hallazgos en conjunto evidencian que una sobredosis de DT a ovinos de pelo en engorda es una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia energética en hembras en ambientes de EC, mientras que en los machos parece no activar mecanismos de acción asociados con el metabolismo de energía, al menos a la dosis usada en el presente estudio. Cabe mencionar que no se tiene una explicación en relación a porque el funcionamiento del DT fue co-dependiente del sexo. Se requieren realizar más estudios que ayuden a

esclarecer si la dosis de DT incluida en la dieta está asociada con la co-dependencia del sexo.

Si bien, no se midieron analitos indicadores del metabolismo de energía, la falta de efecto de la interacción DT × sexo en el peso de órganos-despojos, deposición de grasa y rendimientos de cortes primarios, indica que el DT posiblemente mejoró la eficiencia energética en corderas a partir de incrementar la producción de energía derivada de la dieta consumida, y no tanto por el catabolismo de tejidos que pudieran ser usados como sustratos energéticos. La tiamina puede aumentar la eficiencia energética de la dieta al funcionar como coenzima de piruvato deshidrogenasa en la ruta de la glucólisis para la formación de acetil CoA (sustrato para producir energía ATP), pero también es un cofactor de enzimas catabólicas que permiten incrementar la captación en hígado de aminoácidos ramificados de cadena corta y ácidos grasos no esterificados (NEFA) que son oxidados para formar glucógeno hepático (Manzetti et al., 2014; Kalyesubula et al., 2021b). En el caso de las NEFA, si las reservas de glucógeno hepático se llenan, éstas son esterificadas a triglicéridos y transformadas a lipoproteínas de baja densidad que son depositadas en las reservas lipídicas corporales (Kalyesubula et al., 2021a). Así que un aumento en el peso del hígado por la acumulación de glucógeno, una disminución en el peso de los órganos (corazón, riñones, otros) o cortes primarios con alta actividad del enzima complejo deshidrogenasa de alfa-cetoácidos de cadena ramificada, así como cambios en los depósitos de grasa corporal, son hallazgos esperados en animales tratados con tiamina como un reflejo de sus mecanismos de acción para mediar el metabolismo energético (Castillo-Cristóbal et al., 2023).

### **5.3. Efectos de sexo**

Independientemente del sexo, todos los ovinos mostraron una FR alta (4.5 veces más del rango normal) sin llegar a categorizarse como severa (>200 rpm, Silanikove, 2000), asimismo las diferentes temperaturas de las superficies corporales estuvieron por arriba de los esperado en condiciones termoneutrales (16 a 33 ° C dependiendo de la hora del día; Macías-Cruz et al., 2016). En general, el sexo no fue un factor genético que influyera la capacidad de termorregulación de los ovinos de

engorda bajo las condiciones de EC que prevalecieron en el presente estudio, ya que la TR fue similar entre los corderos y las corderas. Sin embargo, la estrategia que usaron estos ovinos para regular su temperatura interna varió de acuerdo al sexo; las corderas al parecer re-direccionaron un mayor flujo sanguíneo hacia el tracto respiratorio para priorizar la liberación de su calor corporal por el mecanismo evaporativo de la respiración, lo cual causó una vasoconstricción periférica en la superficie corporal de alrededor de la cavidad torácica y el vientre, reduciendo las pérdidas de calor por radiación a través de la piel en esas regiones del cuerpo. Esto explica porque los corderos tuvieron menor FR y mayor temperatura de superficie corporal en regiones como costilla, vientre y miembro posterior comparado con las corderas. Está ampliamente documentado que los mecanismos de termorregulación fisiológicos se activan de manera secuencial, primero los no evaporativos y posteriormente los evaporativos cuando los primeros no son suficientes para disipar el exceso de carga de calor corporal (Silanikove, 2000; Marai et al., 2007; Vicente-Pérez et al., 2020).

Cabe destacar que las corderas parecieron ser menos tolerantes a las condiciones de EC que los corderos, ya que hicieron un mayor uso de los mecanismos evaporativos (FR). Otros estudios realizados con ovinos de otras razas también han reportado que las hembras requieren aumentar su tasa respiratoria para mantener su temperatura interna similar a los machos bajo EC (Fadare et al., 2013; Iddriss and Rahim, 2018). Esta diferencia en la activación de los mecanismos de termorregulación fisiológico lo han asociado con dimorfismos sexuales relacionados con las variables fisiológicas, así como a la diferencia en tamaño corporal y deposición de la grasa (Abbaya et al., 2022). De la misma manera, se ha reportado que la testosterona es una hormona reproductiva que participa en la modulación de los mecanismos de termorregulación periféricos, específicamente al promover vasodilatación cuando la  $T_a$  aumenta (Fernandez-Peña et al., 2023).

Por otra parte, los corderos mostraron una mejor repuesta productiva que las corderas bajo las condiciones de EC de verano. Estos resultados coinciden con lo reportado regularmente en trabajos conducidos en ovinos de pelo en ambientes

termoneutrales (Cardoso et al., 2013; Muñoz-Osorio et al., 2020; Landim et al., 2021) y de EC moderado (Macías-Cruz et al., 2010). Es importante señalar que los corderos pesaron al sacrificio 3.7 kg más que las corderas, sin embargo, esta ventaja no se reflejó en el peso de la canal y contrariamente tuvieron 2.1 % menos rendimiento de la misma. Esto se atribuyó a la composición corporal diferenciada que presentaron las corderas y los corderos (Vargas Junior et al., 2014). Al final de la engorda, los cuerpos de los corderos mostraron mayor porcentaje de peso de despojos (contenido del tracto gastrointestinal, cabeza y patas), y sus canales no evidenciaron una mayor deposición de tejido magro acorde a los resultados del área del músculo LT; mientras tanto, las canales de las corderas tuvieron una mayor deposición de grasa. Así, estos hallazgos en conjunto sugieren que el EC reduce la eficiencia natural de los corderos, pero al parecer no de las corderas, para ganar peso asociado con una mayor síntesis de proteína muscular y masa de canal.

Las gónadas de los machos y las hembras tienen la capacidad de sintetizar hormonas esteroideas, las cuales no solo tienen una función reproductiva, sino también juegan un rol importante en la conformación tisular del cuerpo de los animales. Los ovarios sintetizan estrógenos que tienen acción lipogénica alta y anabólica en menor grado en las hembras, mientras que los testículos producen testosterona que actúa como un anabólico natural, y favorece el crecimiento de los huesos y la presencia de los caracteres sexuales secundarios en los machos (Desdémona Martínez, 2023). Esto explica porque la deposición de grasa de cobertura e interna fue marcadamente superior en las corderas, y coincide con lo reportado en la literatura para diferentes razas en distintos ambientes (Macías-Cruz et al., 2010; Cardoso et al., 2013; Vargas de Junior et al., 2014; Muñoz-Osorio et al., 2020; Landim et al., 2021). También explica lo relacionado a los resultados de rendimiento de cortes primarios, donde, a pesar de que el peso de la canal no fue afectado por sexo, los corderos tendieron a tener mayor rendimiento del tren anterior, particularmente en cortes asociados con el desarrollo de la musculatura del pecho (cuello y paleta/espaldilla); una de las características sexuales secundarias muy evidente en todos los machos. Cabe mencionar que la función endócrina de las gónadas puede verse reducida en condiciones ambientales de Ta altas (Barragán et al., 2021), lo cual podría modificar el crecimiento y la

composición tisular corporal de los animales (Lefaucheur, 2010). Se especula que el EC redujo la producción de testosterona en nuestros corderos, lo cual comprometió parcialmente la actividad anabólica del músculo y la relación tejido magro:grasa en ellos.

El sexo es un factor intrínseco del ovino que ha mostrado impactar en la calidad de la carne en condiciones de ambiente termoneutral, principalmente por las diferencias que hay entre machos y hembras respecto a la madurez fisiológica que se refleja directamente en la composición tisular de la canal y reservas de glucógeno hepático-muscular (Guerrero et al., 2013; de Lima Junior et al., 2016). No obstante, los resultados publicados del efecto de sexo son inconsistentes. Un estudio conducido en ovinos Pelibuey encontró en evaluación puntual que el pH a 24 h y la dureza de la carne no cambiaban con el sexo, sin embargo, la carne de las corderas presentó un pH a los 45 min post-sacrificio mayor y tendió a ser oscura (menor  $L^*$  y mayor  $a^*$  y  $b^*$ ) comparado con la carne de corderos enteros (Torrescano-Urrutia et al., 2009). En carne de ovinos autóctonos de España de post-destete, el sexo tampoco influyó sobre el pH a 24 h, así como en color, CRA, pérdida de peso por cocción y esfuerzo al corte tanto en evaluación puntual como en carne madurada (Miguel et al., 2021). En ovinos de raza de pelo (Blackbelly y StCroix) y sus cruzas con la raza Dorset, el sexo tuvo una influencia en la calidad de la carne sin haber afectado el pH a 24 h, ya que la carne de cordero fue más luminosa ( $L^*$ ), amarillenta y dura (esfuerzo al corte) con menor tonalidad rojiza comparada con la carne de cordera (Lee et al., 2024). No se encontraron reportes del efecto de sexo en la calidad de la carne de ovinos de pelo u otra raza bajo ambientes de EC, sin embargo, los resultados de esta investigación indican que el sexo no afecta la calidad de carne de estos ovinos, ya que no se detectaron diferencias en CRA, esfuerzo al corte y pérdidas de peso por cocción a pesar de que la carne de los corderos presentó un valor promedio más alto de pH a 24 h post-mortem. En el color, la carne de los corderos mostró solamente ser ligeramente más rojiza sin llegarse a considerar que tendiera ser oscura como los valores de  $a^*$  están dentro del rango de referencia (Calnan et al., 2014). Los machos tienen mayor actividad sexual y física desde una edad temprana en comparación con las hembras, lo que provoca el gasto de las reservas de glucógeno muscular y, en consecuencia,

una disminución de éste en el post-mortem (de Lima Junior et al., 2016). La acidificación y, por lo tanto, el pH final del músculo post-sacrificio depende directamente de la transformación del glucógeno en ácido láctico (Calnan et al., 2014). A su vez, tanto los pH altos en la carne, así como animales con alta actividad física, se asocian con una menor disponibilidad de oxígeno capaz de penetrar en la superficie de la carne, causando una reducción en la producción de oxihemoglobina y la presencia de carne con valores más altos de  $a^*$  (Adzitey and Nurul, 2011).

## VI. CONCLUSIONES

La alimentación de corderos de pelo con difosfato de tiamina durante la etapa de engorda y finalización resultó no ser una estrategia adecuada para mitigar los efectos negativos del estrés por calor bajo las condiciones climáticas naturales del verano de una región desértica, ya que no se encontró ningún beneficio en cuanto a ganancia de peso, eficiencia alimenticia, características de la canal de importancia económica y calidad de la carne. No obstante, la implementación de esta estrategia nutricional en la engorda de corderas de pelo estresadas por calor podría ser considerada porque, al parecer, mejora la eficiencia energética de la dieta al mantener la deposición de masa muscular y grasa en la canal consumiendo 12.3 % menos de alimento. Esto a su vez tiene implicaciones positivas económicas para los productores de la región como se mejoraría la rentabilidad de esta actividad pecuaria al reducir los costos de alimentación.

Por otra parte, la inclusión del difosfato de tiamina en la dieta tiene el potencial para mejorar parcialmente el bienestar de los ovinos de pelo (machos y hembras) como potencializó las pérdidas de calor corporal por medios no evaporativos (radiación a través de la superficie corporal). Sin embargo, esto no se refleja sobre la capacidad de termorregulación y productiva.

## VII. LITERATURA CITADA

- Abbaya, H. Y., Philimon, Y., Elihu, A., Lawal, A. U., & Lumbonyi, I. A. (2022). Species, age and sex effect on thermoregulatory parameters of animals in hot season of Mubi. *Journal of Biology and Genetic Research*, 8(2). <https://doi.org/10.56201/jbgr.v8.no2.2022.pg1.12>
- Addah, W., Ayantunde, A., & Okine, E.K. (2017). Effects of restricted feeding and re-alimentation of dietary protein or energy on compensatory growth of sheep. *South African Journal of Animal Science*, 47(3), 389-398. <https://dx.doi.org/10.4314/sajas.v47i2.15>
- Adzitey, F., & Nurul, H. (2011). Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences-a mini review. *International Food Research Journal*, 18(1). 11-20.
- Aguilar-Martínez, C. U., Berruecos-Villalobos, J. M., Espinoza-Gutiérrez, B., Segura-Correa, J. C., Valencia-Méndez, J., & Roldán-Roldán, A. (2017). Origen, historia y situación actual de la oveja Pelibuey en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(3), 429-439.
- Alaei Shahmiri, F., Soares, M. J., Zhao, Y., & Sherriff, J. (2013). High-dose thiamine supplementation improves glucose tolerance in hyperglycemic individuals: a randomized, double-blind cross-over trial. *European journal of nutrition*, 52(7), 1821-1824. <https://doi.org/10.1007/s00394-013-0534-6>
- Al-Dawood, A. (2017). Towards heat stress management in small ruminants - a review. *Annals of Animal Science*, 17(1) 59-88. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0068>
- Allam, A. M., El-Shazly, K., Borhami, B. E. A., & Mohamed, M. A. (2001). Effect of baker's yeast (*Saccharomyces Cerevisiae*) supplementation on digestion in sheep and milk response in dairy cows. *Egyptian J. Nutrition and feeds*, 4, 315.
- Almeida, V. L., Espinosa, M. J., Gamboa, V. J. J., Estrada, B. E., & Domínguez, C.E. (2001). Diagnóstico de urolitiasis obstructiva en ovinos alimentados en corral. En *Memorias del XXV Congreso Nacional de Buiatría*, pp. 1-2. Veracruz, México.

- Ankrah, N., Campbell, G., Tyler, R., Rossnagel, B., & Sokhansanj, S. (1999). Hydrothermal and  $\beta$ -glucanase effects on the nutritional and physical properties of starch in normal and waxy hull-less barley. *Animal Feed Science and Technology*, 81(3-4), 205-219. [https://doi.org/10.1016/s0377-8401\(99\)00084-x](https://doi.org/10.1016/s0377-8401(99)00084-x)
- Arce-Recinos, C., Chay-Canúl, A.J., Alarcón-Zúñiga, B., Ramos-Juárez, J.A., Vargas-Villamil, L.M., Aranda-Ibáñez, E.M., Sánchez-Villegas, N.D., & Lopez Dias da Costa, R. (2021). Índices de eficiencia alimenticia en ovinos de pelo: calidad de la carne y genes asociados. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(2), 523-552. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i2.5642>
- Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Alvarez-Valenzuela, F. D., Aguila-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. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-3904>
- Banco Mundial. (2021). Meat; of sheep (including lamb), boneless cuts, frozen exports by country in 2021. Disponible en: <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2021/tradeflow/Exports/partner/WLD/product/020443> Accesado el 12 mayo de 2023.
- Barragán Sierra, A., Avendaño-Reyes, L., Hernández Rivera, J. A., Vicente-Pérez, R., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Meza-Herrera, C. A., & Macías-Cruz, U. (2021). Termorregulación y respuestas reproductivas de carneros bajo estrés por calor. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(3), 910-931. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5624>.
- Barragán Sierra, A., Avendaño-Reyes, L., Mellado-Bosque, M., Meza-Herrera, C. A., Vicente-Pérez, R., Castañeda, V. J., Díaz-Molina, R., & Macías-Cruz, U. (2023). Seasonal heat stress compromises testicular thermoregulation and semen quality of Dorper rams raised in a desert climate. *Journal of Thermal Biology*, 118, 103737. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103737>

- Baumgard, L. H., & Rhoads, R. P., Jr (2013). Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annual review of animal biosciences*, 1, 311-337. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103644>
- Baumgard, L. H., Abuajamieh, M. K., Stoakes, S. K., Sanz-Fernandez, M. V., Johnson, J. S., Rhoads, R. P., & Eastridge, M. (2014). Feeding and managing cows to minimize heat stress. In *Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference* (pp. 61-74).
- Berman A. (2011). Invited review: Are adaptations present to support dairy cattle productivity in warm climates?. *Journal of Dairy Science*, 94(5), 2147-2158. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3962>
- Bettendorff, L., & Wins, P. (2021). Biochemistry of thiamine and thiamine phosphate compounds. En Lennarz W.J. and Lane M.D (Eds). *Cofactors and coenzymes*. (3<sup>a</sup> ed). *Elsevier eBooks* (pp. 302-313). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809633-8.21271-5>
- Bobadilla-Soto, E. E., Ochoa-Ambriz, F., & Perea-Peña, M. (2021). Dinámica de la producción y consumo de carne ovina en México 1970 a 2019. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 963-982. <https://dx.doi.org/10.15517/am.v32i3.44473>
- Bobadilla-Soto, E. E., Ochoa-Ambriz, F., & Perea-Peña, M. (2022). El sistema de producción maíz-ovinos de traspatio en los pueblos Mazahuas del Estado de México. *Terra Latinoamericana*, 40. e945. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.945>
- Brosnan, J. T., & Brosnan, M. E. (2007). Creatine: endogenous metabolite, dietary, and therapeutic supplement. *Annual Review of Nutrition*, 27, 241-261. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.27.061406.093621>
- Bubber, P., Ke, Z. J., & Gibson, G. E. (2004). Tricarboxylic acid cycle enzymes following thiamine deficiency. *Neurochemistry International*, 45(7), 1021-1028. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2004.05.007>
- Calnan, H. B., Jacob, R. H., Pethick, D. W., & Gardner, G. E. (2014). Factors affecting the colour of lamb meat from the longissimus muscle during display: The influence

of muscle weight and muscle oxidative capacity. *Meat Science*, 96(2), 1049-1057. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.08.032>.

Cantón-Castillo, J. G., Moguel-Ordóñez, Y., & Castellanos-Ruelas, A. F. (1995). Estimación del requerimiento energético de mantenimiento del borrego Pelibuey en clima tropical. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 33(2). Disponible en: <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/678>

Cárdenas Medina, J., Duarte A, P., Mena A, D., & Ramos T, O. (2018). Requerimientos y eficiencia energética de ovejas Pelibuey y Katahdin no gestantes, no lactantes en Yucatán, México. *Revista MVZ Córdoba*, 23(2), 6598-6606. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1333>

Cardoso, M. T. M., Landim, A. V., Louvandini, H., & McManus, C. (2013). Performance and carcass quality in three genetic groups of sheep in Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(10), 734-742. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982013001000007>

Carrillo-Díaz, F., Salgado-Moreno, S., Escalera-Valente, F., Carmona-Gasca, C., Peña-Parra, B., & Macías-Coronel, H. (2015). Urolitiasis en ovinos. *Abanico veterinario*, 5(3), 49-57.

Castillo-Cristóbal, G., Cisneros-Cedillo, M. L., Tánori-Lozano, A., López-Baca, M. A., Avendaño-Reyes, L., Castañeda-Bustos, V., & Macías-Cruz, U. (2022). Comportamiento productivo de corderos y corderas alimentadas con un cofactor glucogénico bajo condiciones de estrés por calor. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 30(Supl. 1), 131-134. <https://doi.org/10.53588/alpa.3005014>

Chauhan, S. S., Celi, P., Leury, B. J., Clarke, I. J., & Dunshea, F. R. (2014). Dietary antioxidants at supranutritional doses improve oxidative status and reduce the negative effects of heat stress in sheep. *Journal of Animal Science*, 92(8), 3364-3374. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7714>

Chávez-Espinoza, M., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., & Montañez-Valdez, O. D. (2022). Sistemas de producción de pequeños rumiantes en México y su

efecto en la sostenibilidad productiva. *Revista MVZ Córdoba*, 27(1), <https://doi.org/10.21897/rmvz.2246>

Cisneros-Cedillo, M.L., Macías-Cruz, U., Castillo-Cristóbal, G., Tanori-Lozano, A., López-Baca, M.A., Avendaño-Reyes, L., Morán-Durán, P., Rivero-Pérez, N. (2022). Suplementación de difosfato de tiamina y clorhidrato de zilpaterol sobre el comportamiento productivo y canal de corderos finalizados bajo un ambiente de estrés por calor. En memorias del 2do. *Congreso Internacional de Ciencias Veterinarias y Producción Animal*, UAEH, pp. 220-223.

Ciszak, E. M., Korotchkina, L. G., Dominiak, P. M., Sidhu, S., & Patel, M. S. (2003). Structural basis for flip-flop action of thiamin pyrophosphate-dependent enzymes revealed by human pyruvate dehydrogenase. *The Journal of Biological Chemistry*, 278(23), 21240-21246. <https://doi.org/10.1074/jbc.M300339200>

COPLADE. (2019). Comité de planeación para el desarrollo del estado. Programa Estatal de Desarrollo Agropecuario 2015-2019. Gobierno de Baja California. Disponible en: <http://www.copladebc.gob.mx/programas/sectoriales/Programa%20Estatal%20e%20Desarrollo%20Agropecuario%202015-2019.pdf>

Corpet D. E. (1984). The effect of bambarmycin, carbadox, chlortetracycline and olaquinox on antibiotic resistance in intestinal coliforms: a new animal model. *Annales de Microbiologie*, 135A(2), 329-339. [https://doi.org/10.1016/s0769-2609\(84\)80015-0](https://doi.org/10.1016/s0769-2609(84)80015-0)

Correa, M. P., Dallago, B. S., Paiva, S. R., Canozzi, M. E., Louvandini, H., Barcellos, J. J., & McManus, C. (2013). Multivariate analysis of heat tolerance characteristics in Santa Inês and crossbred lambs in the Federal District of Brazil. *Tropical Animal Health and Production*, 45(6), 1407-1414. <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0378-3>

da Silva, W. E., Leite, J. H. G. M., de Sousa, J. E. R., Costa, W. P., da Silva, W. S. T., Guilhermino, M. M., Asensio, L. A. B., & Façanha, D. A. E. (2017). Daily rhythmicity of the thermoregulatory responses of locally adapted Brazilian sheep

in a semiarid environment. *International Journal of Biometeorology*, 61(7), 1221-1231. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1300-2>

de Lima Júnior, Dorgival M, de Carvalho, Francisco F R, da Silva, Felipe J S, Rangel, Adriano H do N, Novaes, Luciano P, & Difante, Gelson dos S. (2016). Intrinsic factors affecting sheep meat quality: a review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 29(1), 03-15. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v29n1a01>

Desdémona Martínez, E. (2023). Implicaciones que influyen en el desempeño productivo, características de la canal y de la carne de ganado bovino engordado en corral. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 34(3), e24517. <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v34i3.24517>

Domínguez-Vara, I. A., Mondragón-Ancelmo, J., González Ronquillo, M., Salazar-García, F., Bórquez-Gastelum, J. L., & Aragón-Martínez, A. (2009). Los B-agonistas adrenérgicos como modificadores metabólicos y su efecto en la producción, calidad e inocuidad de la carne de bovinos y ovinos: una revisión. *Ciencia ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 16(3), 278-284.

Elliott, C. T., Crooks, S. R., McEvoy, J. G., McCaughey, W. J., Hewitt, S. A., Patterson, D., & Kilpatrick, D. (1993). Observations on the effects of long-term withdrawal on carcass composition and residue concentrations in clenbuterol-medicated cattle. *Veterinary Research Communications*, 17(6), 459-468. <https://doi.org/10.1007/BF01839213>

Elmore, R. G. (1992). Focus on bovine reproductive disorders: managing cases of fetal mummification. *Veterinary Medicine*, 87: 155-159.

Eversole, D.E., Fontenot, J.P., & Kirk, D.J. (1989). Implanting trenbolone acetate and estradiol in finishing beef steers. *Nutrition Reports International*, 39, 995-1002.

Fadare, A. O., Peters, S. O., Yakubu, A., Sonibare, A. O., Adeleke, M. A., Ozoje, M. O., & Imumorin, I. G. (2012). Physiological and haematological indices suggest superior heat tolerance of white-coloured West African Dwarf sheep in the hot

- humid tropics. *Tropical Animal Health and Production*, 45(1), 157-165.  
<https://doi.org/10.1007/s11250-012-0187-0>.
- FAO. (2021). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. En *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura eBooks*. <https://doi.org/10.4060/cb5409es>
- Farah, Y., Syed Hasan, A., Aisha, N., Subhan, S., Muhammad Sohaib, I. A., Neha, K., Fawwad, F., Shehryar, K., Ilma Saleh, S., Hala, N., Hamdoon Sharwardy, A., Marium, N., Muhammad Sohaib, A. (2022). Current evidence and future perspectives of the best supplements for cardioprotection: have we reached the final chapter for vitamins?. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, 23(11), 1-20.  
<https://libcon.rec.uabc.mx:4440/10.31083/j.rcm2311381>
- Fernández-Peña, C., Reimúndez, A., Viana, F., Arce, V. M., & Señarís, R. (2023). Sex differences in thermoregulation in mammals: Implications for energy homeostasis. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1093376.  
<https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1093376>
- Fesseha, H., Aliye, S., & Kifle, T. (2019). Recombinant bovine somatotropin and its role in dairy production: A review. *Theriogenology Insight-An International Journal of Reproduction in all Animals*, 9(3), 77-86.  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32783.53924>
- Fracascia, P., Casteels, M., De Schryver, E., & Van Veldhoven, P. P. (2011). Role of thiamine pyrophosphate in oligomerisation, functioning and import of peroxisomal 2-hydroxyacyl-CoA lyase. *Biochimica et Biophysica acta*, 1814(10), 1226-1233.  
<https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2011.06.007>
- Gaines, S. A., Rollins, L. D., Williams, R. D., & Selwyn, M. (1980). Effect of penicillin and virginiamycin on drug resistance in lactose-fermenting enteric flora. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 17(3), 428-433.  
<https://doi.org/10.1128/AAC.17.3.428>
- Ghadban, G.S. (2002). Probiotics in broiler production - A review. *Archiv fur Geflugelkunde*. 66(2). 49-58.

- Girard, C.L., Chiquette, J., & Matte, J.J. (1994). Concentrations of folates in ruminal content of steers: responses to a dietary supplement of folic acid in relation with the nature of the diet. *Journal of Animal Science*, 72(4), 1023-1028. <https://doi.org/10.2527/1994.7241023x>
- Gonçalves-Titto, C., 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. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.10.015>.
- Gonzalez-Rivas, P. A., DiGiacomo, K., Russo, V. M., Leury, B. J., Cottrell, J. J., & Dunshea, F. R. (2016). Feeding slowly fermentable grains has the potential to ameliorate heat stress in grain-fed wethers. *Journal of Animal Science*, 94(7), 2981-2991. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0295>
- Grigat, G. A., & Mathison, G. W. (1982). Thiamin supplementation of an all-concentrate diet for feedlot steers. *Canadian Journal of Animal Science*, 62(3), 807-819. <https://doi.org/10.4141/cjas82-098>
- Guerrero, A., Velandia Valero, M., Campo, M. M., & Sañudo, C. (2013). Some factors that affect ruminant meat quality: from the farm to the fork. Review. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 35(4), 335-347. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v35i4.21756>
- Hamilton-Miller, J. M. T. (1999). Probiotics: a critical review. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 43(6), 849. <https://doi.org/10.1093/jac/43.6.849>
- Harun, A. Y., & Sali, K. (2019). Factors affecting rumen microbial protein synthesis. *Open Journal of Veterinary Medicine*, 4(1), 27-35. <https://doi.org/10.17140/VMOJ-4-133>.
- Herago, T., & Agonafir, A. (2017). Growth promoters in cattle. *Advances in Biological Research*, 11(1), 24-34.
- 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 Pecuário en México. *Agro Productividad*, 10(3), 87-93.

- Holecek, M., Sprongl, L., & Tilser, I. (2001). Metabolism of branched-chain amino acids in starved rats: the role of hepatic tissue. *Physiological Research*, 50(1), 25-33.
- Huang, H. M., Ou, H. C., Xu, H., Chen, H. L., Fowler, C., & Gibson, G. E. (2003). Inhibition of alpha-ketoglutarate dehydrogenase complex promotes cytochrome c release from mitochondria, caspase-3 activation, and necrotic cell death. *Journal of Neuroscience Research*, 74(2), 309-317. <https://doi.org/10.1002/jnr.10756>
- Iddriss, A. R. I., & Rahim, A. A. (2018). Heat tolerance in Djallonke sheep under Guinea Savannah conditions. *Tropical Agriculture*, 95(3). <https://journals.sta.uwi.edu/ojs/index.php/ta/article/view/1987>
- INEGI.7 2017. Anuario geográfico y estadístico de Baja California 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: [https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF\\_Docs/BCN\\_ANUARIO\\_PDF.pdf](https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/BCN_ANUARIO_PDF.pdf) (Accesado el 11 de abril de 2023).
- Jahnier C, A., Ávila, M, A., & Cubides, J, D. (2018). Enfermedades respiratorias de vías aéreas bajas en ovinos, impacto regional, principales etiologías infecciosas y métodos de diagnóstico. *Zoociencia*, 3(1). Disponible en: <https://revistas.udca.edu.co/index.php/zoociencia/article/view/522>
- Kalyesubula, M., Mopuri, R., Asiku, J., Rosov, A., Yosefi, S., Edery, N., Bocobza, S., Moallem, U., & Dvir, H. (2021a). High-dose vitamin B1 therapy prevents the development of experimental fatty liver driven by overnutrition. *Disease Models & Mechanisms*, 14(3), dmm048355. <https://doi.org/10.1242/dmm.048355>
- Kalyesubula, M., Mopuri, R., Rosov, A., Bommel, G. V., & Dvir, H. (2021b). Metabolic effects of vitamin B1 therapy under overnutrition and undernutrition conditions in sheep. *Nutrients*, 13(10), 3463. <https://doi.org/10.3390/nu13103463>
- Karapinar, T., Dabak, M., & Kizil, O. (2010). Thiamine status of feedlot cattle fed a high-concentrate diet. *The Canadian Veterinary Journal*, 51(11), 1251-1253.
- Karapinar, T., Dabak, M., Kizil, O., & Balikci, E. (2008). Severe thiamine deficiency in sheep with acute ruminal lactic acidosis. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 22(3), 662-665. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2008.0094.x>

- Kkalid, A. A., Aly, B. O., Ahmed, M. E. W., Emad, M. S., & Ahmed, A. A-H. (2013). Dietary supplementation of seaweed (*Ulva lactuca*) to alleviate the impact of heat stress in growing lambs. *Pakistan Veterinary Journal*, 34(1), 108-111.
- Landim, A. V., Roriz, N. D., Silveira, R. M. F., Vega, W. H. O., Costa, H. H. A., de Sousa, L. C. O., Alves, G. C., Ferreira, J., & Mourão, G. B. (2021). Sheep meat production in the Brazilian semi-arid region: crossing between indigenous breeds. *Tropical Animal Health and Production*, 53(5), 510. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02947-1>
- Lee, S., Jo, K., Jeong, H. G., Choi, Y. S., Kyoung, H., & Jung, S. (2024). Freezing-induced denaturation of myofibrillar proteins in frozen meat. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(5), 1385-1402. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2116557>
- Lefaucheur L. (2010). A second look into fibre typing--relation to meat quality. *Meat Science*, 84(2), 257-270. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.05.004>
- Leffers, H., Naesby, M., Vendelbo, B., Skakkebaek, N. E., & Jørgensen, M. (2001). Oestrogenic potencies of Zeranol, oestradiol, diethylstilboestrol, Bisphenol-A and genistein: implications for exposure assessment of potential endocrine disrupters. *Human Reproduction (Oxford, England)*, 16(5), 1037-1045. <https://doi.org/10.1093/humrep/16.5.1037>
- Lima, N. L. L., Ribeiro, C. R. de F., Sá, H. C. M. de ., Leopoldino-Júnior, I., Cavalcanti, L. F. L., Santana, R. A. V., Furusho-Garcia, I. F., & Pereira, I. G.. (2017). Economic analysis, performance, and feed efficiency in feedlot lambs. *Revista Brasileira De Zootecnia*, 46(10), 821-829. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017001000005>
- López, R., Pinto-Santini, L., Perozo, D., Pineda, J., Oliveros, I., Chacón, T., Rossini, M., & Ríos de Álvarez, L. (2015). Confort térmico y crecimiento de corderas West African pastoreando con y sin acceso a sombra artificial. *Archivos de Zootecnia*, 64(246), 139-146.

- Lykkesfeldt, J., & Svendsen, O. (2007). Oxidants and antioxidants in disease: oxidative stress in farm animals. *The Veterinary Journal*, 173(3), 502-511. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2006.06.005>
- Macías-Cruz, U, Álvarez-Valenzuela, FD, Rodríguez-García, J, Correa-Calderón, A, Torrentera-Olivera, NG, Molina-Ramírez, L, & Avendaño-Reyes, L. (2010). Crecimiento y características de canal en corderos Pelibuey puros y cruzados F1 con razas Dorper y Katahdin en confinamiento. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 42(3), 147-154. <https://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2010000300005>
- Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F. D., Correa-Calderón, A., Díaz-Molina, R., Mellado, M., Meza-Herrera, C., & Avendaño-Reyes, L. (2013b). Thermoregulation of nutrient-restricted hair ewes subjected to heat stress during late pregnancy. *Journal of Thermal Biology*, 38(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2012.09.002>
- Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., Álvarez-Valenzuela, F. D., Torrentera-Olivera, N. G., Meza-Herrera, C.A., Mellado-Bosque, M., & Correa-Calderón, A. (2013a). 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.
- Macías-Cruz, U., Gastélum, M. A., Álvarez, F. D., Correa, A., Díaz, R., Meza-Herrera, C. A., Mellado, M., & 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 = Nihon chikusan Gakkaiho*, 87(3), 354-360. <https://doi.org/10.1111/asj.12430>
- Macías-Cruz, U., López-Baca, M. A., Vicente, R., Mejía, A., Álvarez, F. D., Correa-Calderón, A., Meza-Herrera, C. A., Mellado, M., Guerra-Liera, J. E., & 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. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1123-6>

- Macías-Cruz, U., Saavedra, O. R., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Torrentera, N. G., Chay-Canul, A., López-Baca, M. A., & Avendaño-Reyes, L. (2020). Feedlot growth, carcass characteristics and meat quality of hair breed male lambs exposed to seasonal heat stress (winter vs. summer) in an arid climate. *Meat Science*, 169, 108202. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108202>
- Mahjoubi, E., Amanlou, H., Mirzaei-Alamouti, H. R., Aghaziarati, N., Yazdi, M. H., Noori, G. R., Yuan, K., & 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. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7153>
- Makarchikov, A. F., Lakaye, B., Gulyai, I. E., Czerniecki, J., Coumans, B., Wins, P., Grisar, T., & Bettendorff, L. (2003). Thiamine triphosphate and thiamine triphosphatase activities: from bacteria to mammals. *Cellular and Molecular Life Sciences: CMLS*, 60(7), 1477-1488. <https://doi.org/10.1007/s00018-003-3098-4>
- Manzetti, S., Zhang, J., & van der Spoel, D. (2014). Thiamin function, metabolism, uptake, and transport. *Biochemistry*, 53(5), 821-835. <https://doi.org/10.1021/bi401618y>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.003>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11250-008-9162-1>
- Miguel, E., Blázquez, B., & Ruiz de Huidobro, F. (2021). Liveweight and sex effects on instrumental meat quality of rubia de el molar autochthonous ovine breed. *Animals*, 11(5), 1323. <https://doi.org/10.3390/ani11051323>
- Miller, J. K., Brzezinska-Slebodzinska, E., & Madsen, F. C. (1993). Oxidative stress, antioxidants, and animal function. *Journal of Dairy Science*, 76(9), 2812-2823. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77620-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77620-1)

- Mitsumoto, M., Ozawa, S., Mitsuhashi, T., & Koide, K. (1998). Effect of dietary vitamin E supplementation for one week before slaughter on drip, colour and lipid stability during display in Japanese black steer beef. *Meat Science*, 49(2), 165-174. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(97\)00123-X](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(97)00123-X)
- Morigny, P., Houssier, M., Mouisel, E., & Langin, D. (2016). Adipocyte lipolysis and insulin resistance. *Biochimie*, 125, 259-266. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2015.10.024>
- Muñoz-Osorio, G. A. (2021). El desempeño productivo de corderos de engorda en corrales elevados en Yucatán. *Bioagrociencias* 14(1): 63-69. <https://doi.org/10.56369/bac.3808>
- Muñoz-Osorio, G. A., Aguilar-Caballero, A. J., Sarmiento-Franco, L. A., Wurzinger, M., & Cámara-Sarmiento, R. (2015). Descripción de los sistemas intensivos de engorda de corderos en Yucatán, México. *Nova Scientia*, 7(15), 207-226.
- Muñoz-Osorio, G. A., Aguilar-Caballero, A., Sarmiento-Franco, L., Wurzinger, M., & Sandoval-Castro, C. (2020). Effect of two housing systems and sex on productive performance of lamb during the fattening. *Archivos de Zootecnia*. 69(268). 494-498. <https://doi.org/10.21071/az.v69i268.5398>.
- Muñoz-Osorio, G. A., Góngora-Pérez, R. D., Ek-Mex, J. E., Vázquez-Martínez, I., & Chay-Canul, A. J. (2022). Rentabilidad de la engorda de corderos alojados en corrales elevados y a nivel del suelo en el sureste de México. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(5). e23780. <https://doi.org/10.15381/rivep>.
- Nelson, E. A., Wong, Y., Yu, L. M., Fok, T. F., & Li, K. (2002). Effects of hyperthermia and muramyl dipeptide on IL-1beta, IL-6, and mortality in a neonatal rat model. *Pediatric research*, 52(6), 886-891. <https://doi.org/10.1203/00006450-200212000-00013>
- Neser, F. W. C., Erasmus, G. J., & Van Wyk, J. B. (2000). Genetic studies on the South African Mutton Merino: Growth traits. *South African Journal of Animal Science*, 30(3), 172-177. <https://doi.org/10.4314/sajas>.

- Neves, M. L. M. W., de Azevedo, M., da Costa, L. A. B., Guim, A., Leite, A. M., & Chagas, J. C. (2009). Critical levels of the Thermal Comfort Index for Santa Ines sheep under grazing at the agreste region of Pernambuco State. *Animal Sciences*, 31(2), 169-175. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v31i2.3766>.
- Neville, B. W., Schauer, C. S., Karges, K., Gibson, M. L., Thompson, M. M., Kirschten, L. A., Dyer, N. W., Berg, P. T., & Lardy, G. P. (2010). Effect of thiamine concentration on animal health, feedlot performance, carcass characteristics, and ruminal hydrogen sulfide concentrations in lambs fed diets based on 60% distillers dried grains plus solubles. *Journal of Animal Science*, 88(7), 2444-2455. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2607>
- Newbold, C. J., Wallace, R. J., & Walker, N. D. (1993). The effect of tetronasin and monensin on fermentation, microbial numbers and the development of ionophore-resistant bacteria in the rumen. *The Journal of Applied Bacteriology*, 75(2), 129-134. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1993.tb02757.x>
- Nicolás-López, P., Macías-Cruz, U., Mellado, M., Correa-Calderón, A., Meza-Herrera, C.A., & Avendaño-Reyes, L. (2021). Growth performance and changes in physiological, metabolic and hematological parameters due to outdoor heat stress in hair breed male lambs finished in feedlot. *International Journal of Biometeorology*, 65(8), 1451-1459. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02116-x>
- NRC (2007). Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new world camelids. National academies press: Washington, DC. <https://doi.org/10.17226/11654>.
- OECD-FAO. (2023). Organization economic cooperation and development-FAO agricultural outlook. Edition 2022. Agriculture statistics. Disponible en: <https://doi.org/10.1787/13d66b76-en> Accesado en 11 Mayo 2023.
- Owens, F. N., Zinn, R. A., & Kim, Y. K. (1986). Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *Journal of Animal Science*, 63(5), 1634-1648. <https://doi.org/10.2527/jas1986.6351634x>

- Page, A., Flower, L., Prowle, J., & Puthuchery, Z. (2021). Novel methods to identify and measure catabolism. *Current Opinion in Critical Care*, 27(4), 361-366. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000842>
- Partida de la Peña, J. A., Braña, Varela. D., Jiménez, Severiano. H., Ríos, Rincón. F. G., & Buendía, Rodríguez. G. (2013). Producción de carne ovina, Inifap. Libro técnico. No. 5. 7-21. ISBN: 978-607-37-0036-8
- Partida de la Peña, J. A., Ríos Rincón, F. G., Cruz Colín, L. D. L., Domínguez Vara, I. A., & Buendía Rodríguez, G. (2017). Caracterización de las canales ovinas producidas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(3), 269-277. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4203>
- Patel, S. S., Molnar, M. Z., Tayek, J. A., Ix, J. H., Noori, N., Benner, D., Heymsfield, S., Kopple, J. D., Kovesdy, C. P., & Kalantar-Zadeh, K. (2013). Serum creatinine as a marker of muscle mass in chronic kidney disease: results of a cross-sectional study and review of literature. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 4(1), 19-29. <https://doi.org/10.1007/s13539-012-0079-1>
- Patterson, J. A., & Burkholder, K. M. (2003). Application of prebiotics and probiotics in poultry production. *Poultry Science*, 82(4), 627-631. <https://doi.org/10.1093/ps/82.4.627>
- Pepper, R. T., & Dobson, H. (1987). Preliminary results of treatment and endocrinology of chronic endometritis in the dairy cow. *The Veterinary Record*, 120(3), 53-56.
- Platter, W. J., Tatum, J. D., Belk, K. E., Scanga, J. A., & Smith, G. C. (2003). Effects of repetitive use of hormonal implants on beef carcass quality, tenderness, and consumer ratings of beef palatability. *Journal of Animal Science*, 81(4), 984-996. <https://doi.org/10.2527/2003.814984x>
- Richardson, L. F., Raun, A. P., Potter, E. L., Cooley, C. O., & Rathmacher, R. P. (1976). Effect of monensin on rumen fermentation in vitro and in vivo. *Journal of Animal Science*, 43(3), 657-664. <https://doi.org/10.2527/jas1976.433657x>

- Rindi, G., & Laforenza, U. (2000). Thiamine intestinal transport and related issues: recent aspects. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. 224(4), 246-255. <https://doi.org/10.1046/j.1525-1373.2000.22428.x>
- Romero, R. D., Montero Pardo, A., Montaldo, H. H., Rodríguez, A. D., & Hernández Cerón, J. (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. <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0416-1>
- Ronquillo, J. C. C., Hernández, J. E. H., Espino-Barros, O. A. V., Guerra, F. J. F., & Becerra, C. A. C. (2018). Análisis económico de la engorda de ovinos en una granja integral en el estado de Puebla, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 42, 819-827. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.275173>
- Rosas Aragón, J. (2018). Respuesta productiva, costos de producción, calidad de la canal y de la carne de toretes suplementados con difosfato de tiamina y beta-agonistas. Tesis de maestría, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 58 p.
- 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. [https://doi.org/10.1016/0093-691x\(85\)90190-6](https://doi.org/10.1016/0093-691x(85)90190-6)
- Rota, A. D. P. A., & Rota, L. A. A. (2021). Respuesta productiva a la inclusión de pirofosfato de tiamina en dietas de cuyes en crecimiento y engorde. *Agroindustrial Science*, 11(2), 175-178. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.06>.
- Rowghani, E., Zamiri, M. J., & Ebrahimi, S. R. (2006). Effects of monensin and thiamin and their combinations on feedlot performance, blood glucose, BUN levels and carcass characteristics of mehraban lambs fed a high concentrate diet. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 9(15). <https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.2835.2840>.

- Santschi, D. E., Berthiaume, R., Matte, J. J., Mustafa, A. F., & Girard, C. L. (2005). Fate of supplementary B-vitamins in the gastrointestinal tract of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88(6), 2043-2054. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72881-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72881-2)
- SAS. (2016). User's guide. Software 9.4. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J., Malik, P. K., Naqvi, S. M. K., & Lal, R. (Eds.). (2017). Sheep production adapting to climate change. *Singapore Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4714-5>.
- Shimomura, Y., Honda, T., Shiraki, M., Murakami, T., Sato, J., Kobayashi, H., Mawatari, K., Obayashi, M., & Harris, R. A. (2006). Branched-chain amino acid catabolism in exercise and liver disease. *The Journal of Nutrition*, 136(1 Suppl), 250S-3S. <https://doi.org/10.1093/jn/136.1.250S>
- Shinde, A. & Sejian, Veerasamy. (2013). Sheep husbandry under changing climate scenario in India: An overview. *Indian Journal of Animal Sciences*. 83(10), 998-1008.
- Shvareva, N., Kaplanski, J., Abramovich, L., & Sod-Moriah, U. A. (1998). Testosterone modifies response to chronic heat exposure in rats. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & Integrative Physiology*, 120(4), 575-578. [https://doi.org/10.1016/s1095-6433\(98\)10078-8](https://doi.org/10.1016/s1095-6433(98)10078-8)
- SIAP. (2020). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Disponible en: [http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecAvanceEdo.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceEdo.jsp) Accesado en 9 de mayo 2023.
- SIAP. (2021a). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/744954/Inventario\\_2021\\_ovino.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/744954/Inventario_2021_ovino.pdf) Accesado el 04 de mayo 2023.
- SIAP. (2021b). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Disponible en: [http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecResumen.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecResumen.jsp) Accesado el 04 de mayo 2023.

- Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*, 67(1-2), 1-18. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7).
- Silzell, S. A., Hellwig, D. H., Kegley, E. B., Coffey, K. P., Beers, K., & Daniels, L. B. (2002). Effects of supplemental thiamin on growth performance and immune function in stressed stocker cattle. *Journal of Applied Animal Research*, 22(1), 145-156. <https://doi.org/10.1080/09712119.2002.9706390>.
- Stelletta, C., Tekin, K., Tirpan, M. B., Alemdar, H., Cil, B., Oztutar Stelletta, F., Olgac, K. T., Inanc, M. E., & Daskin, A. (2017). Vulvar thermal pattern following synchronization of estrus is linked to fertility after timed artificial insemination in goat. *Theriogenology*, 103, 137-142. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.07.038>
- Stone, W. C. (2004). Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 87, E13-E26. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70057-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70057-0)
- Surinder, S. C., Zhang, M., Osei-Amponsah, R., Clarke, I., Sejian, V., Warner, R., & Dunshea, F. R. (2023). Impact of heat stress on ruminant livestock production and meat quality, and strategies for amelioration. *Animal Frontiers: The Review Magazine of Animal Agriculture*, 13(5), 60-68. <https://libcon.rec.uabc.mx:4440/10.1093/af/vfad046>
- Sutton, D. S., Ellis, M., Lan, Y., McKeith, F. K., & Wilson, E. R. (1997). Influence of slaughter weight and stress gene genotype on the water-holding capacity and protein gel characteristics of three porcine muscles. *Meat Science*, 46(2), 173-180. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(97\)00006-5](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(97)00006-5)
- 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), 671-679.

- Taheri, H. R., Moravej, H., Tabandeh, F., Zaghari, M., & Shivazad, M. (2009). Screening of lactic acid bacteria toward their selection as a source of chicken probiotic. *Poultry Science*, 88(8), 1586-1593. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00041>
- Takemura, H., Shim, J. Y., Sayama, K., Tsubura, A., Zhu, B. T., & Shimoi, K. (2007). Characterization of the estrogenic activities of zearalenone and zeranol in vivo and in vitro. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 103(2), 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2006.08.008>
- Tedeschi, L. O., Cannas, A., & Fox, D. G. (2010). A nutrition mathematical model to account for dietary supply and requirements of energy and other nutrients for domesticated small ruminants: The development and evaluation of the Small Ruminant Nutrition System. *Small Ruminant Research*, 89(2-3), 174-184. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300020>.
- Theusme, C., Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Correa-Calderón, A., García-Cueto, R. O., Mellado, M., Vargas-Villamil, L., & Vicente-Pérez, A. (2021). Climate change vulnerability of confined livestock systems predicted using bioclimatic indexes in an arid region of México. *The Science of the Total Environment*, 751, 141779. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141779>
- Torre, H., Torre, C., Perales, C. & Conte J, C. (2016). Parámetros productivos y sanguíneos en pollos de carne suplementados con cocarboxilasa. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária*, 23(3-4). <https://doi.org/10.4322/rbcv.2016.057>.
- Torrescano Urrutia, G. R., Sánchez Escalante, A., Peñúñuri Molina, F. J., Velázquez Caudillo, J., & Sierra Ramiro, T. (2009). Características de la canal y calidad de la carne de ovinos Pelibuey, engordados en Hermosillo, Sonora. *Biotechnia*, 11(1), 41-50. <https://doi.org/10.18633/bt.v11i1.54>.
- Tsigos, C., & Chrousos, G. P. (2002). Hypothalamic-pituitary-adrenal axis, neuroendocrine factors and stress. *Journal of Psychosomatic Research*, 53(4), 865-871. [https://doi.org/10.1016/s0022-3999\(02\)00429-4](https://doi.org/10.1016/s0022-3999(02)00429-4)

- Unruh, J. A. (1986). Effects of endogenous and exogenous growth-promoting compounds on carcass composition, meat quality and meat nutritional value. *Journal of Animal Science*, 62(5), 1441-1448. <https://doi.org/10.2527/jas1986.6251441x>
- Valadez-García, K. M., Avendaño-Reyes, L., Díaz-Molina, R., Mellado, M., Meza-Herrera, C. A., Correa-Calderón, A., & Macías-Cruz, U. (2021). Free ferulic acid supplementation of heat-stressed hair ewe lambs: Oxidative status, feedlot performance, carcass traits and meat quality. *Meat science*, 173, 108395. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108395>
- Vanbelle, M., Teller, E., & Focant, M. (1990). Probiotics in animal nutrition: a review. *Archiv fur Tierernahrung*, 40(7), 543-567. <https://doi.org/10.1080/17450399009428406>
- Vargas Junior, F. M., Martins, C. F., Pinto, G. dos S., Ferreira, M. B., Ricardo, H. de A., Leão, A. G., Fernandes, A. R., & Teixeira, A. (2014). The effect of sex and genotype on growth performance, feed efficiency, and carcass traits of local sheep group Pantaneiro and Texel or Santa Inês crossbred finished on feedlot. *Tropical Animal Health and Production*, 46(5), 869-875. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0579-4>
- Vélez, A., Espinosa, J., De la Cruz, L., Rangel, J., Espinoza, I., & Barba, C. (2016). Caracterización de la producción de ovino de carne del estado de Hidalgo, México. *Archivos de Zootecnia*, 65(251), 425-428. <https://doi.org/10.21071/az>.
- Vicente Pérez, R., Macías Cruz, U., Avendaño Reyes, L., Correa Calderón, A., López Baca, M. D. L. Á., & Lara Rivera, A. L. (2020). Impacto del estrés por calor en la producción de ovinos de pelo. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 11(1). 205-222. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4923>
- Wiebe, J. P. (2006). Progesterone metabolites in breast cancer. *Endocrine-Related Cancer*, 13(3), 717-738.

- Wierup M. (2001). The experience of reducing antibiotics used in animal production in the Nordic countries. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 18(3), 287-290. [https://doi.org/10.1016/s0924-8579\(01\)00380-6](https://doi.org/10.1016/s0924-8579(01)00380-6)
- Willis, W. L., Isikhuemhen, O. S., Hurley, S., & Ohimain, E. I. (2011). Effect of phase feeding supplemental fungus myceliated grain on oocyst excretion and performance of broiler chickens. *International Journal of Poultry Science*, 10(1), 1-3. <https://doi.org/10.3923/ijps.2011.1.3>.
- Yuri, T., Tsukamoto, R., Miki, K., Uehara, N., Matsuoka, Y., & Tsubura, A. (2006). Biphasic effects of zeranol on the growth of estrogen receptor-positive human breast carcinoma cells. *Oncology Reports*, 16(6), 1307-1312.
- Zamora, J., Del Viento, A., & Palma, J. M. (2020). Suplementación de pirofosfato de tiamina y lámina de hoja de *Ricinus communis* L en la alimentación de ovinos en crecimiento. *Livestock Research for Rural Development*, 32(98), 1-9. <http://www.lrrd.org/lrrd32/6/palma32098.html>
- Zinn, R. A., Owens, F. N., Stuart, R. L., Dunbar, J. R., & Norman, B. B. (1987). B-vitamin supplementation of diets for feedlot calves. *Journal of Animal Science*, 65(1), 267-277. <https://doi.org/10.2527/jas1987.651267x>