



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

**Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en
Zonas Áridas**

**EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y ECONÓMICA DE LA ADICIÓN CON
GRASA DE SOBREPASO A LA DIETA DE OVINOS EN FINALIZACIÓN**

TESIS

Como requisito parcial para
obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

Presenta

JARAMILLO CASTRO ALMA BERENICE

Bajo la supervisión del Dr. Marco Andrés López Santiago.

Bermejillo, Durango, México. Mayo 2025



inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

**EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y ECONÓMICA DE LA ADICIÓN CON GRASA
DE SOBREPASO A LA DIETA DE OVINOS EN FINALIZACIÓN.**

Tesis realizada por **ALMA BERENICE JARAMILLO CASTRO** bajo la supervisión de
del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

Comité Revisor

Director: _____

Dr. Marco Andrés López Santiago

Co-Director: _____

Dr. Lorenzo Danilo Granados Rivera

Asesor: _____

M.C. Sandra Patricia Maciel Torres

Asesor: _____

Dr. Pablo Arenas Báez

Asesor: _____

Dr. Miguel Ángel Mata Espinosa

CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	xii
GENERAL ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Situación actual de los sistemas de producción ovina a nivel mundial.....	5
2.2 Sistemas de producción ovina en zonas áridas.....	6
2.2.1 Sistemas de producción ovina en la Comarca Lagunera	6
2.3 Bienestar animal y comportamiento	7
2.4 Cambio climático y la producción ovina.	8
2.5 Importancia del estrés por calor	9
2.6 Impacto en la producción de calor metabólico	10
2.7 Fisiología de la termorregulación en ovinos.....	12
2.8 Suplementación con grasa de sobrepaso en ovinos.	14
2.9 LITERATURA CITADA	15
CAPÍTULO 3. SUPPLEMENTATION WITH RUMEN-PROTECTED FATS REDUCES RECTAL TEMPERATURE AND IMPROVES PRODUCTIVE PERFORMANCE OF FATTENING LAMBS UNDER HEAT STRESS	24
ABSTRACT.....	24
3.1 Introduction	25
3.2 Materials and methods	27
3.2.1 Ethics statement	27
3.2.2 Location, lambs, experimental design, and treatments	28
3.2.3 Feeding and health management.....	28
3.2.4 Dry matter and water intake	29
3.2.5 Infrared thermography measures	29
3.2.6 Calculation of temperature and humidity index	30
3.2.7 Statistical analysis	30

3.3 Results	31
3.4 Discussion	36
3.5 Conclusion	42
3.6 Limitations.....	43
3.7 REFERENCES	43
CAPITULO 4. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	49
4.1 LITERATURA CITADA	51

ÍNDICE DE CUADROS

Table 1. Ingredients and chemical composition of the total mixed ratio offered to fattening Dorper lambs.	31
Table 2. Climatic conditions during the experimental period.	32
Table 3. Means of dry matter and water intake, final live weight, daily weight gain and body temperature in Dorper lambs fed with a ratio containing two levels of rumen-protected fat.	33
Table 4. Means of temperature and humidity index (THI) ranges for feed intake, water and body temperature in finishing Dorper lambs.	36
Cuadro 5. Costo de la dieta integral ofrecida a ovinos en finalización.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1. Conceptos relacionados con el cambio climático y la producción ovina (Sejian et al., 2017).	9
Figura 2. Descripción de la influencia del estrés térmico en diversas actividades reproductivas de las ovejas (Sejian et al., 2017).	12

CAPITULO 2

Figure. 1 . Daily pattern of mean air temperature and temperature-humidity index (THI) during the experimental period.	32
Figure. 2. Differences in feed intake between Dorper lambs supplemented with 50 to 100 g d-1 of rumen-protected fat. DMI= dry matter intake. **= Indicate significant differences between treatments (P<0.05).	34
Figure. 3. Differences in water intake between Dorper lambs supplemented with 50 to 100 g d-1 of rumen-protected fat. **= Indicate significant differences between treatments (P<0.05).	35
Figure. 4. Environmental temperature, relative humidity and precipitation during the experimental period in the finishing phase of Dorper lambs.	35

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida y cada una de las bendiciones que me ha regalado, por haber puesto en mi camino a la Universidad Autónoma Chapingo para poder formarme y concluir una meta mas en mi vida.

A mi alma mater la Universidad Autónoma Chapingo, por haberme abierto sus puertas y darme la oportunidad de crecer académica y personalmente, por permitir desarrollarme y formar la persona profesional que actualmente soy.

A la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas por haberme dado la mejor experiencia de mi vida, fue mi segunda casa y gracias a eso pude conocer buenas personas, amigos, profesores y a mi compañero de vida.

A mi compañero y amor de mi vida, amigo y cómplice incondicional Karim Antonio Carreón por formar parte de mi vida y de cada logro, además de ayudarme siempre en todo momento, por no dejarme darme por vencida y ayudarme a salir adelante en todos nuestros proyectos y los que nos faltan.

A mis abuelos Ester Castro y Juan Jaramillo que siempre me han apoyado y son los pilares de mi vida, gracias por nunca dejarme sola y estar en cada momento de mi vida.

A mi madre Alma Delia Jaramillo y mis hermanos por su amor y apoyo incondicional y por orientarme en tomar la mejor decisión en cada momento importante.

A los profesores que integran mi comité asesor (Dr. Marco Andrés López, Dr. Danilo Granados, M.C. Sandra Maciel, Dr. Pablo Arenas, Dr. Jorge Maldonado y Dr. Miguel Mata) por permitirme trabajar de su mano, orientarme y ayudarme a resolver las dudas que se me presentaron. Por dirigir satisfactoriamente la presente investigación y ayudar a que se realizara de la manera correcta.

A la Miss. Sandy y el Dr. Danilo por todo tu apoyo, amistad y cariño, gracias por guiarme y permitir trabajar de su mano. Son unas excelentes personas, los admiro mucho y espero poder seguir aprendiendo y formándome junto a ustedes.

A mis amigos Sinaí y Aldair por su apoyo incondicional y por la amistad tan bonita que tenemos, los quiero mucho.

Al equipo de trabajo (Eduardo, Boker, Machado, Gustavo, Frida, Alejandra y el Ing. Angel) y a las personas que nos ayudaron a desarrollarlo y sacar adelante el proyecto, además de brindarnos su amistad.

DEDICATORIA

A Dios que siempre esta conmigo.

A mis abuelos y a mi madre que son los pilares de mi vida.

A mi compañero de vida Karim que siempre está conmigo apoyándome en todo.

A la Universidad Autónoma Chapingo-Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, mi segunda casa.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Alma Berenice Jaramillo

Castro

Fecha de nacimiento: 28 de

Octubre de 1996

Lugar de nacimiento: Torreón,

Coahuila.

CURP: JACA961028MCLRSL03

Profesión: Ingeniero en

Sistemas Pecuarios

Cédula profesional:

13680668



Desarrollo académico

Preparatoria: Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Durango No. 13. (2012-2015).

Obtuvo el grado con mención honorífica como Técnico en Seguridad e Higiene Industrial.

Licenciatura: Unidad Regional Universitaria de Zonas

Áridas-Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo,

Mapimí, Durango (2015-2020).

Obtuvo el grado por unanimidad con felicitación de Ingeniera en Sistemas Pecuarios con la tesis “Caracterización socioeconómica y productiva del sistema de producción extensivo caprino del sur de Nuevo León”.

Desarrollo científico

Participación como Ponente Oral en el VII Congreso Internacional y XIX Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas. Trabajo de investigación titulado: EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN LA DIETA PARA CORDEROS EN FINALIZACIÓN: PRODUCCION DE CALOR CORPORAL.

RESUMEN GENERAL

EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y ECONÓMICA DE LA ADICIÓN CON GRASA DE SOBREPASO A LA DIETA DE OVINOS EN FINALIZACIÓN

Las zonas áridas albergan a productores agrícolas y ganaderos que tienen esta actividad como su principal sustento. No obstante, el clima está cambiando y ha provocado desafíos que son necesarios atender. Por lo tanto, es necesario generar conocimiento que permita resolver los desafíos derivados del cambio climático. En particular, para los productores pecuarios, la alimentación del ganado representa una parte vital en sus producciones, y el uso de grasa en dieta puede ser prometedor. Sin embargo, es necesario estudiar a fondo el efecto de las grasas, en particular las ruminalmente protegidas sobre los parámetros productivos del ganado. Además, es necesario hacer una evaluación económica de las mismas. Por esta razón, se evaluará el uso de grasa protegida (GP) en la producción ovina, que permitan al productor aumentar la productividad, reducir costos de alimentación y mejorar la rentabilidad de Las granjas. El objetivo del estudio fue evaluar productivamente la adición de grasa protegida a la dieta integral de ovinos en finalización. Para ello, se utilizó un diseño completamente al azar con 3 tratamientos y 7 repeticiones (T1= 100 g de GP; T2= 50 g de GP; T3= Sin inclusión de GP). Cada semana se midió la temperatura corporal en ayunas, 1 y 3 h después de servir el alimento. Asimismo, cada día el consumo de agua, alimento, temperatura ambiental y humedad relativa. Los resultados mostraron que la inclusión de GP en la dieta de corderos con 50 g por día incrementó el consumo de materia seca ($p < 0.01$), agua ($p < 0.01$) y peso vivo final ($p < 0.04$). Además, propicio una disminución de la temperatura rectal ($p < 0.01$) y de cabeza ($p < 0.01$). Con base en ello, se concluye que, para mitigar el estrés calórico, se recomienda utilizar dietas altas en energía, y la suplementación con grasa protegida ha demostrado mejorar la termorregulación y el rendimiento productivo en corderos en ambientes calurosos.

Palabras clave: Suplementación, ovinos de pelo, estrés calórico, grasa de sobrepaso.

Tesis de Maestría en Ciencias, Posgrado en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.

Autor: Alma Berenice Jaramillo Castro

Director de tesis: Dr. Marco Andrés López Santiago

GENERAL ABSTRACT

PRODUCTIVE AND ECONOMIC EVALUATION OF ADDING EXCESS FAT TO THE DIET OF SHEEP IN FINISHING.

Arid areas are home to agricultural and livestock producers who rely on these activities to make a living. However, climate change has created challenges that must be addressed. Therefore, it is necessary to generate knowledge that will help us solve these problems. For livestock producers in particular, feed is a vital part of production, and using fat in the diet may be promising. Nevertheless, the effect of fats, particularly rumen-protected fats, on livestock production parameters must be thoroughly studied. An economic evaluation of these fats is also necessary. For this reason, this study will evaluate the use of protected fat (PF) in sheep production to help producers increase productivity, reduce feed costs, and improve farm profitability. This study aimed to evaluate the effects of adding PF to the complete diet of finishing sheep on their productivity. A completely randomised design with three treatments and seven replicates was used for this purpose (T1 = 100 g PF; T2 = 50 g PF; T3 = no PF). Body temperature was measured on an empty stomach every week, and again one and three hours after feeding. Water and feed intake, ambient temperature and relative humidity were also measured daily. The results showed that including 50 g of PF in the diet of lambs per day increased dry matter intake ($p < 0.01$) and water intake ($p < 0.01$), as well as final live weight ($p = 0.04$). Additionally, it led to a decrease in rectal and head temperature ($p < 0.01$). Based on these findings, it can be concluded that diets high in energy are recommended to mitigate heat stress, and that supplementation with protected fat improves thermoregulation and productive performance in lambs in hot environments.

Keywords: Supplementation, hair sheep, caloric stress, fattening.

Master's Thesis in Science, Graduate Program in Natural Resources and Environmental in Arid Zones, Universidad Autónoma Chapingo, Regional University Unit of Arid Zones.
Author: Alma Berenice Jaramillo Castro Advisor: Dr. Marco Andrés López Santiago

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En el mundo existen 1,266 millones de cabezas de ganado ovino distribuidos principalmente en China (IWTO, 2022). La producción mundial de carne de ovino aumentó 1.8% llegando a 16.4 millones de toneladas en el año 2021. China es el mayor productor con 31% (FAO^a, 2022). En México, se tiene un inventario de 8,805,206 cabezas de ganado ovino (SIAP, 2023^a), y una producción de 67 mil toneladas de carne en canal, con un incremento anual de 2.1%. Lo cual, genera una derrama económica de 323 millones de dólares (SIAP, 2023^b). Este nivel de producción posiciona a México en el lugar 30° a nivel mundial (SIAP, 2023^b). Asimismo, para el país es una actividad de gran beneficio tanto económico como sociocultural. Además, existe una demanda creciente y constante de la carne de ovino en el país (Calderón-Cabrera et al., 2022).

Debido a esta creciente demanda, se ha impulsado el crecimiento de la ovinocultura en México (Devi et al., 2020). Sin embargo, la producción nacional no cubre la demanda de carne ovina en el país (SIAP, 2023^b). Esto abre oportunidades para mejorar la productividad de los sistemas de producción en México ya que se tiene un déficit sostenido en la demanda nacional (SIAP, 2023^b). En este sentido, la ovinocultura es una actividad que tiene la capacidad de producir bajo condiciones de estrés ambiental (Barragan et al., 2021). Sin embargo, dichas condiciones pueden afectar en forma negativa la productividad de los animales (Zhang et al., 2020). Algunos de los efectos que se observan, son la disminución en el consumo de alimento, incremento de la tasa respiratoria, incremento en la transpiración y aceleración del ritmo cardiaco, ya que se busca encontrar la homeostasis en el animal (Vicente et al., 2020). No obstante, estos mecanismos fisiológicos de regulación requieren un gasto energético en extremo demandante, lo cual impacta la ganancia diaria de peso y puede afectar la calidad de los productos que se obtienen (Tüfekci y Sejian, 2023).

Para mitigar estos efectos negativos se han propuesto diferentes estrategias. Una de ellas consiste en modificar el ambiente, a través del uso de extractores,

salas de baño, ventiladores, aspersores y techos elevados (Almuhanna et al., 2021). Otro implica el manejo nutricional, en esta estrategia se hace uso de grasas debido a su alta densidad energética, además de su versatilidad en el momento del mezclado de la ración. Al respecto, Coppock y Wilks (1991) tras incluir una grasa de sobrepaso en ovinos en engorda, sugirieron que, al aumentar la densidad energética de la dieta, incrementa también el consumo de energía con una ingesta constante de materia seca. Por lo que el uso de una grasa de sobrepaso pudiera ayudar a incrementar la productividad del sistema ovino bajo condiciones ambientales adversas, particularmente en climas cálidos.

Por otra parte, se ha reportado que en ovinos de pelo las condiciones de normotermia oscilan entre los 38.3 y 39.9 °C (Vicente et al., 2020). Sin embargo, en el Norte de México, las temperaturas máximas ambientales que se han reportado van de los 45 a 52 °C (CONAGUA, 2020; SMN, 2024), lo que supone efectos negativos en la producción ovina, pues la temperatura ambiental supera en forma amplia la zona de normotermia de los animales. Por lo anterior, es necesario generar o validar estrategias que ayuden a mitigar los efectos negativos del clima para ovinos de pelo. En particular, debido a que el cambio climático ha ocasionado que en diversos países se hayan superado los récords históricos de temperaturas máximas registradas. Por ejemplo, en Europa Continental se registró un nuevo récord de temperatura de 48.8 °C (OMM, 2024), en Australia y Uruguay se registraron temperaturas de 50.7 °C (Melo, 2023). En estas regiones se realiza una producción intensiva de ganado ovino por lo que los efectos adversos del cambio climático afectan la productividad de dichos animales. Con base en ello, es necesario encaminar esfuerzos para generar estrategias que ayuden a combatir los efectos adversos del cambio climático en los indicadores productivos del ganado. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento productivo y económico de ovinos de pelo al incluir grasas de sobrepaso en la dieta, como estrategia para mitigar el estrés térmico en un clima cálido seco.

1.1 Justificación

Dentro de las zonas áridas se encuentran productores que se dedican a la agricultura y ganadería como su principal actividad de subsistencia. Debido a esto se está alterando el ecosistema por lo que, se busca realizar actividades que permitan hacer más sostenible y sustentable el sistema de producción y con ello hacer más eficiente el uso de recursos y obtener una mejora productiva, ecológica y social (Feng y Fu, 2013; Tarango, 2005; Red Mexicana de Cuencas, 2022).

El potencial nutritivo de la ración alimenticia influye en los comportamientos alimenticios de los animales, pues esta mejora el rendimiento de la carne en canal (Bastos et al., 2014). Se sabe que la suplementación en la dieta de alimento de pequeños rumiantes es necesaria para aumentar la eficiencia productiva, pero aún falta mucho por investigar que alimentos alternativos son útiles para lograr tener productividad a menor costo (Oliveira et al., 2017).

Según Herrero et al. (2013), actualmente los sistemas de producción que se desarrollan en regiones áridas y semiáridas exigen un enfoque en la alimentación estratégica y el uso sostenible de los recursos locales. Ya que existen carencias en la calidad y cantidad de alimentos para lograr una alta productividad animal. La adaptación que tienen los ovinos a ambientes áridos y al estrés por calor está dada por una interacción entre los mecanismos de termorregulación y la presencia de factores genéticos.

Estudios realizados por Vicente et al. (2020) describen que en México los ovinos de pelo se distribuyen en diferentes climas debido a que no presentan estacionalidad reproductiva, por lo que esta característica permite a la industria ovina mantener una producción de carne constante a través del año. Sin embargo, se tiene poca información sobre poca la habilidad para producir en condiciones de estrés por calor.

PEREIRA (2011) realizó un estudio midiendo la inclusión de niveles crecientes de grasa protegida (GP) en la dieta de corderos mestizos Suffolk sobre el desempeño y características de la canal y costos de la fase de terminación y obtuvo como resultados un mayor peso en la canal de los animales suplementados con GP. Sin embargo, es necesario estudiar más a fondo el verdadero efecto de las grasas protegidas sobre parámetros productivos en ganadería y además realizar una evaluación económica de las mismas, ya que la mayor parte de los trabajos publicados no contempla ese aspecto. Por esta razón, se plantea el uso de suplementos energéticos como la grasa de sobrepaso en la producción ovina, que permitan al productor aumentar la productividad de los animales, reducir costos de alimentación y mejorar la rentabilidad del sistema.

1.2 Objetivo

Evaluar productiva y económicamente la adición de grasa de sobrepaso a la dieta integral de ovinos en finalización.

1.3 Hipótesis

Ha: La adición de grasa de sobrepaso en raciones integrales disminuye la producción de calor y mejora positivamente la rentabilidad en el sistema productivo ovino.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

Las zonas áridas son sitios con escasez de agua en el suelo, con precipitación media anual de 350 a 600 mm y temperaturas extremas a lo largo del año (Tarango, 2005). Estas componen el 41% de la superficie terrestre y son habitadas por más del 30% de la población (Feng y Fu, 2013). En el Norte de América las superficies áridas cubren poco más del 30% y se estima que México cuenta con alrededor del 41% de estas zonas en su territorio, las cuales son habitadas por el 18% de la población nacional (Red Mexicana de Cuencas, 2022).

En México el 52% de las regiones áridas y semiáridas se caracterizan por tener una cobertura vegetal compuestas por matorrales. Dicha cobertura vegetal es afectada negativamente por actividades humanas con la reducción del 0.89% al año. Actualmente, estas áreas enfrentan una problemática de sobreexplotación de sus recursos naturales y del medio ambiente. La degradación se debe en parte a las actividades agropecuarias intensivas (Hernández, 2006).

El problema principal que enfrenta la ganadería extensiva y semi-intensiva que se practica en regiones áridas y semiáridas de México es la disponibilidad de alimento de buena calidad, además del manejo tradicional que se les brinda. El pastoreo es la principal fuente de alimento para los animales en estas zonas. Por lo tanto, los grupos humanos que subsisten gracias a la ganadería han aprendido a manejar los espacios en condiciones complejas de aridez, a adaptarse a la ausencia prolongada de lluvias y a conocer el comportamiento fenológico de las especies vegetales de los agostaderos (Aguirre-Rivera y Negrete-Sánchez, 2017).

2.1 Situación actual de los sistemas de producción ovina a nivel mundial

Actualmente se cuenta con una población de más de 1000 millones de cabezas de ganado (Miller y Lu, 2019). De acuerdo con lo reportado por la Food and Agriculture Organization-FAO^b (2022), la población mundial de ovinos se encuentra distribuida alrededor del mundo de la siguiente manera: Asia (49.2%),

África (27.9%), Europa (8.7%), Oceanía (7.5%) y finalmente en América (6.7%). Los países con mayor número de cabezas de ganado ovino en el mundo son China con el 14%, luego le sigue la India y Australia con el 5% y México por su parte cuenta con solo el 1.33% de la población mundial (International Wool Textile Organisation, 2022). La producción de carne ovina es de 9 millones de toneladas a nivel global y los principales productores son los países en desarrollo (FAO^c, 2018).

2.2 Sistemas de producción ovina en zonas áridas.

Los sistemas de producción de ovinos en México tienden a desarrollarse en zonas de aridez (Baraza et al., 2008), por lo que los sistemas están determinados por la disponibilidad de recursos, además de las tradiciones de consumo. La producción intensiva tiene una duración de 120 a 150 días, iniciando la engorda después del destete para llegar a un peso de 35 a 40 kg en un lapso de 75 a 90 días (SIAPd, 2024).

Actualmente la producción ovina cuenta con 8.9 millones de cabezas de ganado (SADER, 2019) y la mayor producción de carne ovina proviene de ganado criollo o cruza (SIAP, 2020). Hoy en día el consumo *per capita* nacional se encuentra en 560 g de carne por persona (SIAPd, 2024). En México la ovinocultura se centra principalmente en la zona centro del país y el Estado de México es el principal productor con 9,447 toneladas de carne, seguido de Hidalgo con una producción de 6,853 toneladas (SIAPd, 2024), Durango por su parte cuenta 64,280 cabezas de ganado ovino y la Región de la Comarca Lagunera cuenta con 13,147 cabezas (SIAPe, 2023), por lo que representa una importante actividad ganadera para las familias de estas regiones (Calderón-Cabrera et al., 2022).

2.2.1 Sistemas de producción ovina en la Comarca Lagunera

La Comarca Lagunera es una región caracterizada por su clima seco, bajos recursos hídricos y temperaturas extremas que van desde los 45.3° C en verano y 8° y 0° en invierno, además cuenta con sequías prolongadas en invierno y una

sequía corta en verano, por lo que según Enriqueta García su clima es BWhw"(e'), árido seco (SADER-RL, 2024).

La actividad ganadera ovina que se desarrolla en la Comarca Lagunera se caracteriza por la producción intensiva, la cual se distingue porque los animales se encuentran confinados en corral (estabulados). Los ovinos tienen una alimentación balanceada con la finalidad de lograr altas producciones de leche y carne para mercados dirigidos (Haenlein, 2001). Asimismo, cuentan con alojamiento, atención veterinaria, dietas integrales que se componen de pastos, ensilados, henos, vitaminas y minerales (Niderkorn et al., 2015). Por otro lado, también se cuenta con el sistema semi-intensivo que se caracteriza por tener los animales en pastoreo en terrenos con vegetación natural y después son confinados en corrales o instalaciones donde se les administran suplementos con concentrados y forrajes (Peacocka y Shermanb, 2010). Además, en este sistema se garantiza que los animales satisfagan los requerimientos de agua y alimento (Rúa et al., 2017).

2.3 Bienestar animal y comportamiento

Se entiende por bienestar animal el estado físico y mental, así como la relación con el medio ambiente en el que vive y muere un animal. El comportamiento natural es un criterio para determinar el bienestar animal (Browning, 2019; OMSA, 2024). De tal forma que para evaluar las necesidades de bienestar de los animales se pueden utilizar criterios que comprenden el estado mental, comportamiento, nutrición, medio ambiente y salud, con la finalidad de que se reduzcan los riesgos para la sanidad animal y la salud humana a través de una producción adecuada (OMSA, 2017).

Hoy en día en los sistemas de producción ganadera, la salud y el bienestar animal son de vital importancia, ya que estos pueden ser afectados por el medio ambiente en el que se desarrollan los animales y por ende tener repercusiones (Blanco-Penedo et al., 2020). Debido a esto, en los últimos años se ha estudiado el vínculo que tiene la cultura y la ciencia con la calidad de vida que se les brinda

a los animales, dando como resultado argumentos sólidos y fundamentados científicamente sobre el impacto positivo y negativo que resulta de las condiciones en las que se establezca la producción animal, ya que hoy en día para los consumidores es más inquietante conocer la manera en la que se producen los alimentos que llegan a su mesa (OMSA, 2024).

La importancia del bienestar animal sobre los sistemas productivos recae en el desempeño productivo y reproductivo del animal. Cuando el animal se encuentra en discomfort se manifiestan ciclos irregulares en la reproducción y producción láctea y cárnica y en consecuencia menor ovulación, baja tasa de gestación y menor ganancia de peso (Córdova-Izquierdo et al., 2009; Munilla et al., 2019).

2.4 Cambio climático y la producción ovina.

Actualmente la producción ovina enfrenta problemas debido al cambio climático y con ello al aumento de temperatura ambiental, por lo que este sector necesita ser más eficiente, sustentable y sostenible para lograr el bienestar de los animales y mantener una producción estable (Sánchez-Mendoza et al., 2020; Sejian et al., 2017). Las consecuencias de este fenómeno a nivel global repercuten en la salud y la producción, ya que viene acompañado de fenómenos meteorológicos que afectan directamente al animal (Blanco-Penedo et al., 2020).

Los ovinos se adaptan a diferentes climas, sin embargo, el cambio climático ha generado un desequilibrio en la eficiencia reproductiva y productiva de los animales (Sejian et al., 2017). Lo cual, se debe a múltiples cambios fisiológicos en el animal cuando este se encuentra expuesto a altas temperaturas, causando un estrés térmico, nutricional e hídrico (Kandemir et al., 2013; Sejian et al., 2017).

Cuando el animal es expuesto a temperaturas extremas tiende a realizar mecanismos regulatorios y compensatorios para volver a la homeoterima, por lo que al realizar esta activación adaptativa se ve afectado su rendimiento productivo, debido a la utilización y desviación de la energía para mantener el

equilibrio térmico corporal (Figura 1) (Indu et al., 2014; Sejian et al., 2017; Vicente et al., 2020).

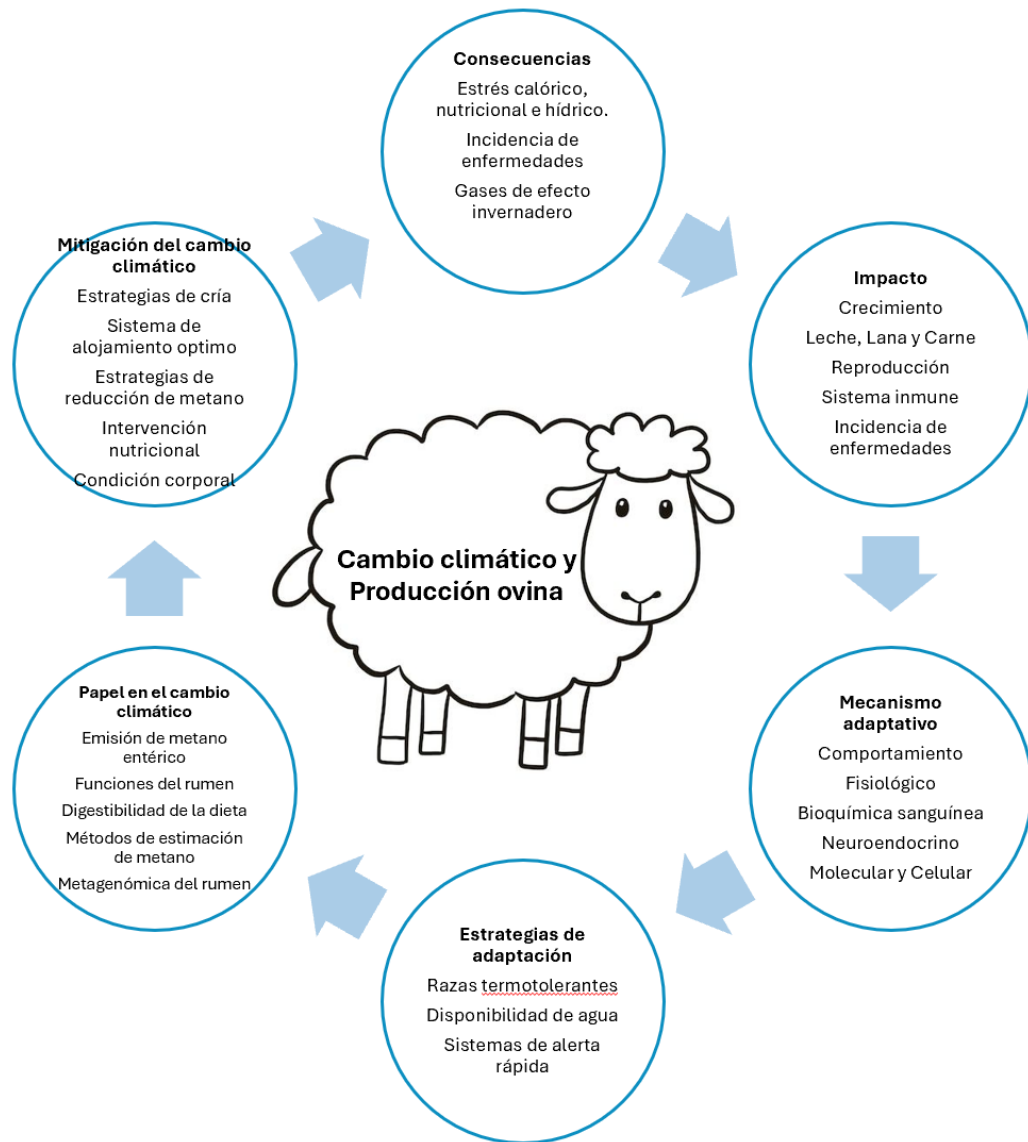


Figura 1. Conceptos relacionados con el cambio climático y la producción ovina (Sejian et al., 2017).

2.5 Importancia del estrés por calor

El Cambio Climático es evidente ya que, se muestran alteraciones en los patrones de distintas variables climáticas la temperatura, humedad relativa, precipitación y los niveles de radiación solar a nivel mundial. Se tienen registros

de un incremento en la temperatura ambiental en los últimos años (Corrales-Navarro, 2018), y debido a estos incrementos se tienen repercusiones negativas en el sector pecuario, particularmente en zonas áridas y semiáridas del mundo (Kadzere et al., 2002; Avendaño-Reyes et al., 2004; Martínez-Partida et al., 2011; Vicente et al., 2020).

El estrés por calor es el conjunto de cambios fisiológicos que se manifiestan en los animales que se desarrollan en ambientes con altas temperaturas, de tal manera que reducen su eficiencia productiva, por lo que disminuye la ganancia diaria de peso, la producción de leche y la reproducción (Armendano, 2016). La exposición de los animales a temperaturas elevadas aumenta los esfuerzos por disipar el calor corporal, por lo que resulta un incremento en las tasas de respiración, temperatura corporal, consumo de agua y disminución del consumo de materia seca (Marai et al., 2002), de esta manera los animales se pueden encontrar en rangos de temperaturas donde no se permite expresar su máximo potencial genético, viéndose afectada su productividad (Cedeño, 2017). Cuando los animales son afectados por la exposición a altas temperaturas las variables fisiológicas pueden variar de manera significativa dependiendo el sexo, raza, composición corporal, edad del animal y época del año, así como las variables climatológicas (Furtado et al., 2021; De Sousa-Silva et al., 2024).

2.6 Impacto en la producción de calor metabólico

Cuando un animal sobrepasa los límites de temperatura termoneutral y supera la carga total de calor, disminuye la capacidad para disiparlo y en consecuencia provoca un estrés térmico (Bernabucci et al., 2010; Espinosa y Córdova, 2018). Debido a esto se genera un balance energético negativo entre la cantidad de energía neta que fluye del animal hacia el ambiente y la cantidad de energía térmica producida por el mismo, activando así mecanismos compensatorios como conducción, radiación, convección y evaporación para regular la temperatura (St-Pierre et al., 2003; Espinosa y Córdova, 2018).

Un animal se encuentra en normotermia cuando la temperatura corporal se encuentra en los niveles adecuados para mantener el metabolismo normal, en donde el gasto energético metabólico es mínimo para enfriar o calentar el cuerpo del animal en función (De Sousa-Silva et al., 2024). Cuando estos niveles no logran ser estables se produce un aumento de temperatura central corporal y en consecuencia se eleva la temperatura rectal, además aumenta el flujo sanguíneo a través de la piel, provocando sudoración excesiva y elevando la tasa respiratoria con la finalidad de disipar el calor generado en el menor tiempo posible (Carvalho et al., 2019; De Sousa-Silva et al., 2024).

El impacto que genera el estrés por calor en corderos de engorda se ve reflejado en la baja tasa de crecimiento y la reducción de la eficiencia alimenticia (Vicente-Pérez et al., 2020), además en carneros provoca la disminución en las concentraciones de testosterona, baja fertilidad y calidad seminal y un daño en la morfometría y material genético espermático (Barragán-Sierra et al., 2021). Por otro lado, en las hembras las afecciones también se ven reflejadas en su fisiología reproductiva causando baja tasa ovulatoria, baja fertilidad y desarrollo del embrión deficiente (Figura 2.) (McManus et al., 2020).

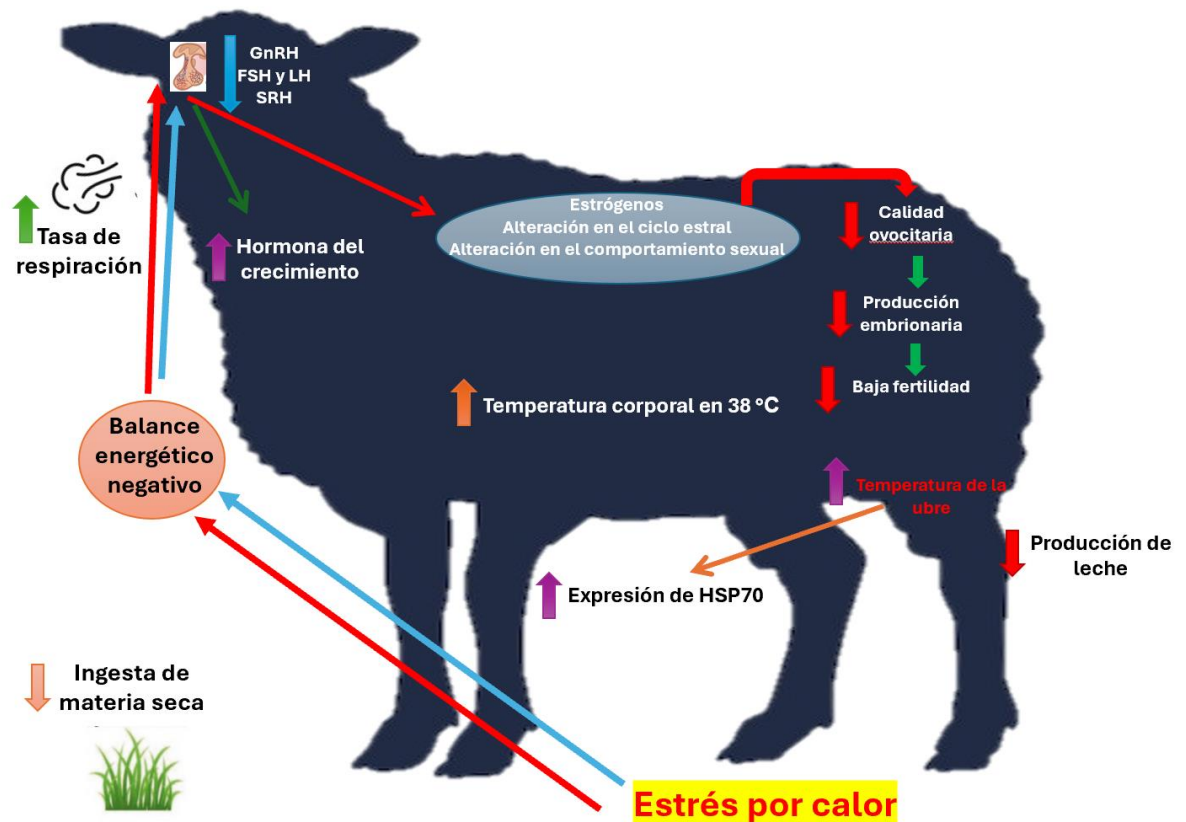


Figura 1. Descripción de la influencia del estrés térmico en diversas actividades reproductivas de las ovejas (Sejian et al., 2017).

2.7 Fisiología de la termorregulación en ovinos.

La termorregulación es la capacidad de conservar la temperatura corporal en las condiciones variables del ambiente mediante la homeostasis (Sanmiguel y Diaz, 2011; AL-Ramamneh, 2023). Estudios realizados por Naves et al., 2009, indican que la zona termoneutral para ovinos oscila entre los 12 y 27 °C considerando una temperatura ambiental que no sobrepase los 30 °C. Sin embargo, para ovinos de pelo adaptados a climas con altas temperaturas esta zona se ubica entre 38.3 a 39.9 °C (Vicente et al., 2020).

La adaptabilidad de los ovinos a ambientes con variaciones extremas de temperatura se realiza mediante mecanismos conductuales, genéticos, fisiológicos y morfológicos. Dicha adaptación se genera a través de una red de

genes con marcadores de ADN específicos en todo el genoma que aumentan la tolerancia al calor (AL-Ramamneh, 2023).

Cabe mencionar que los pequeños rumiantes tienen la capacidad de adaptarse más fácilmente a ambientes con temperaturas extremas a diferencia de otros mamíferos (Vicente et al., 2020). La temperatura óptima entre ellos varía según las necesidades energéticas y el medio en el que se desarrollen (Castro-Lima et al., 2022; AL-Ramamneh, 2023), aunque esto no quiere decir que no tengan alteraciones fisiológicas que afecten su bienestar. Cuando el organismo experimenta niveles elevados de calor aumenta la susceptibilidad a las enfermedades, debilita el sistema inmunológico y repercute negativamente en la producción y reproducción natural (Collier et al, 2008; McManus et al, 2020; AL-Ramamneh, 2023).

La tolerancia que experimentan los ovinos de pelo al calor extremo, es el resultado de adaptaciones fenotípicas y genéticas a lo largo de los años (Rashamol et al., 2018; Vicente et al., 2020). Sin embargo, la estructura de su pelaje cumple funciones importantes, ya que favorece la pérdida de calor por convección y evaporación, además de evitar que la radiación solar llegue directa al manto de la piel (Leite, 2017; McManus et al., 2020; AL-Ramamneh, 2023). Esto permite que se activen receptores para regular la cantidad de sangre, la erección del pelo y la actividad de las glándulas sudoríparas, cuando el animal se encuentra en situaciones críticas ambientales (Sanmiguel y Diaz, 2011).

Como respuesta al estrés calórico el ovino realiza modificaciones fisiológicas reduciendo la tasa metabólica basal, la estabilidad ácido-base y el equilibrio hormonal (AL-Ramamneh, 2023), por lo que se produce una disminución de hormonas anabólicas y una elevación de hormonas catabólicas (Bernabucci et al., 2010; McManus et al., 2020). De tal forma que entre las hormonas que destacan se encuentra la hormona adrenocorticotrópica, somatotrópica, tirotrópica, prolactina y hormona folículo-estimulante y luteinizante, las cuales se

pueden observar a nivel plasmático para revelar el nivel de estrés en el animal (McManus et al., 2020; AL-Ramamneh, 2023).

Cuando el animal se encuentra en situación de estrés térmico, a nivel genético se desarrollan mecanismos de defensa. Collier et al. (2008) mencionan que se produce la activación del factor de transcripción de choque térmico, existe mayor expresión de proteínas de choque térmico (HSP) y menor expresión y síntesis de otras proteínas, se genera oxidación de glucosa y aminoácidos y menor metabolismo de ácidos grasos y el sistema endocrino e inmunológico se activan a través de la secreción extracelular de HSP. De tal forma que la respuesta génica al estrés por calor es activada por proteínas de expresión genética como la HSP, proteína de choque térmico que entra en función protegiendo al sistema de un choque circulatorio, la hipertermia y la isquemia cerebral (Collier et al., 2008), además de la HSP70 cumple la función citoprotectora en el riñón, intestinos y embrión en la hembra (McManus et al., 2020).

2.8 Suplementación con grasa de sobrepaso en ovinos.

La grasa de sobrepaso es un suplemento alimenticio que proporciona energía a los animales rumiantes, su principal característica es que permanece químicamente estable en el rumen durante el proceso de digestión, pero su desdoblamiento y asimilación sucede en la parte final del sistema digestivo del animal, por lo que los microorganismos ruminales no actúan sobre ésta (Pacheco et al., 2021). Las grasas protegidas son una fuente de ácidos grasos insaturados, principalmente de los ácidos grasos linolénico (Omega 3) y linoleico (Omega 6), los cuales son consumidos y utilizados totalmente por el animal (Duarte et al., 2016).

La suplementación con grasas protegidas se ha realizado en los últimos años con la finalidad de obtener mejoras productivas y económicas para el sistema de producción. Paiva (2010) encontró que al suplementar con grasas protegidas la dieta de corderos, se reduce el consumo de materia seca, pero se tiene un

aumento en el rendimiento y producción de carne, por lo que los animales tienden a ganar más peso.

Estudios realizados por Giraldo y Uribe (2012) y por Hernández y Díaz (2011) revelan que al adicionar a la dieta algún tipo de grasa de sobrepeso se tiene un efecto positivo en la producción y reproducción de los animales, ya que se aumenta a la ración la densidad energética. Los pequeños rumiantes son considerados como fuente de oportunidad de mercado en México, ya que la demanda de carne proveniente de ovinos y caprinos supera la oferta (Menocal et al., 2006), por lo que se considera que la producción de los mismos puede ser una fuente de ingresos alternativa para las personas del medio rural (Martínez-Marín et al., 2011).

2.9 LITERATURA CITADA

- Aguirre-Rivera, J. R., y Negrete-Sánchez, L. O. (2017). Aridez y sequía, conceptos climáticos relevantes para el altiplano potosino. *Universitarios Potosinos*, 14(216), 12-17. https://issuu.com/universitarios-potosinos-uaslp/docs/universitarios_potosinos_216
- Almuhanna, E., Gamea, G., Osman, O. y Almahdi, F. (2021). Performance of roof-mounted misting fans to regulate heat stress in dairy cows. *Journal of Thermal Biology*. 99 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102984>
- AL-Ramamneh, D. (2023). Thermoregulation in Sheep and Goats: A Review. *Asian Journal of Biology*, 17 (1):34-42. <https://doi.org/10.9734/ajob/2023/v17i1315>
- Armendano, J. (2016). ¿Cuándo se generan condiciones de estrés por calor en bovinos para carne?, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Sitio web: <https://inta.gob.ar/noticias/%C2%BFcuando-se-generan-condiciones-de-estres-por-calor-en-bovinos-para-carne>
- Avendaño-Reyes, L., Álvarez-Valenzuela, F., Saucedo-Quintana, S., Correa Calderón, A., Molina-Ramírez, L. y Cisneros, F. (2004). Assessment of some productive traits of the pelibuey sheep in northwest México. *Cuban J. Agr. Sci.* 38: 129-134.

- Baraza E, Ángeles R, García A, Valiente B. (2008). Nuevos recursos naturales como complemento de la dieta de caprinos durante la época seca, en el Valle de Tehuacán, México. *Interciencia* 33: 891-896.
- Barragán-Sierra, A., Avendaño-Reyes, L., Hernández-Rivera, J.A., Vicente-Pérez, R., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Meza-Herrera, C. A. y 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>
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L.H., Rhoads, R.P., Ronchi, B. y Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, Jul;4(7):1167-83. doi: 10.1017/S175173111000090X.
- Blanco-Penedo, I., Cantalapiedra, J. y Llonch, P. (2020). Impacto del cambio climático sobre el bienestar animal en los sistemas ganaderos, *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 116(5): 424-443. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.028>
- Browning, B. (2019). The Natural Behavior Debate: Two Conceptions of Animal Welfare, *Journal of Applied Animal Welfare Science* 23 (325-337). <https://doi.org/10.1080/10888705.2019.1672552>
- Calderón-Cabrera, J., Santoyo-Cortés, V. H., Martínez-González, E.G. y Palacio-Muñoz, V.H. (2022). Modelos de negocio para la producción de ovinos en el nororiente y centro del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*;13(1):145-162. DOI: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i1.5816>
- Carvalho-Fonsêca, V., Campos-Maia, A., Paes Saraiva, E., De Melo Costa, C., Gomes da Silva, R., Ahmed-Abdoun, K., Abraham Al-Haidary, A., Mohammed-Samara, E. y Fuller, A. (2019). Bio-thermal responses and heat balance of a hair coat sheep breed raised under an equatorial semi-arid environment, *Journal of Thermal Biology*, 84: 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.05.024>
- Castro-Lima, A., Freitas-Silveira, R., Martins-Castro, M., Bertolaso-De Vecchi, L., Machado da Rocha-Fernandes, M. y Resende, K. (2022). Relationship between thermal environment, thermoregulatory responses and energy metabolism in goats: A comprehensive review, *Journal of Thermal Biology*, 109. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103324>
- Cedeño, M. (2017). Sensibilidad al estrés térmico de ovejas lecheras: El caso de la raza Manchega en la Granja Experimental de la UAB (Tesis de maestría), Universidad Autónoma de Barcelona.

- Collier, R.J., Collier, J. L., Rhoads, R.P y Baumgard, L. H. (2008). Invited review: genes involved in the bovine heat stress response. *Journal Dairy Science*, 91(2):445-454.
[https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(08\)71386-9/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(08)71386-9/fulltext)
- Comisión Nacional del Agua-CONAGUA. (2020). Se registra la temperatura más alta en Mexicali desde 1981. Comunicado de Prensa No. 18.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/570209/OCPBC_18_14_082020.pdf
- Coppock, C.E. y Wilks, D.L., (1991). Supplemental fat in high-energy rations for lactating cows: effect on intake, digestion, milk yield and composition. *J. Anim. Sci.* 69: 3826–3837. DOI: 10.2527/1991.6993826x
- Córdova-Izquierdo, A., Ruiz-Lang, C., Saltijeral-Oaxaca, J., Xolalpa-Campos, V., Cortés-Suárez, S., Méndez-Mendoza, M., Huerta-Crispin, R., Córdova-Jiménez, M., Córdova-Jiménez, C. y Guerra-Liera, E. (2009). Importancia del bienestar animal en las unidades de producción animal en México, REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 10: (12).
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63617155010>
- Corrales-Navarro, J. L. (2018). Efecto del uso de sombra en ovinos de pelo engordados bajo estrés calórico: parámetros productivos y fisiológicos (Tesis de Maestría), UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA - INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS. Sitio web:
<https://repositorioinstitucional.uabc.mx/server/api/core/bitstreams/038e66ff-392f-4bf4-a2c3-bc3d9aea21bc/content>
- De Sousa-Silva, R., Araújo-Furtado, D., Lidiany-Ribeiro, N., Lopes-Neto, J., Martins-Rodrigues, R., Gonçalves de Oliveira, A., Pires da Costa Silva, J., Rodrigues da Silva, M., Henrique-Mascarenhas, N., Inácio-Marques, J. y Leal de Moraes, F. (2024). Physiological variables and estimates of heat exchange in sheep kept at thermoneutral and thermal stress temperatures, *Small Ruminant Research*, 237.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2024.107320>
- Devi, I., Shinde, A. K., Kumar, A. y Sahoo, A. (2020). Stall feeding of sheep and goats: An alternative system to traditional grazing on community lands. *Indian Journal of Animal Sciences* 90 (3): 318–326.
<https://doi.org/10.56093/ijans.v90i3.102317>
- Duarte, J., Ramírez, G. y Castañeda, R. (2016). Grasa sobrepasante: Aplicaciones y su proceso de obtención para la alimentación de rumiantes en el trópico, *Revista Colombiana Ciencia Animal*; 8(2):228-242.

Entorno Ganadero (2022). *La importancia de la suplementación en la ganadería*, BM editores.

Espinosa, R. y Córdova, A. (2018). Efectos metabólicos y molecular del estrés calórico en el ganado, *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, UAM- Departamento de Producción Agrícola y Animal, 18(36).
<https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/400/384>

Estell, R., Havstad, K., Civiles, A., Fredrickson, E., Anderson, D., Schrader, T. y James, L. (2012). Increasing shrub use by livestock in a world with less grass. *Rangel Ecol Manag.* 65(6):553–562.
<https://dx.doi.org/10.2111/REM-D-11-00124.1>

Feng, S y Fu, Q. (2013). Expansion of global drylands under a warming climate, *Journal Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(19) 10081–10094.
<https://doi.org/10.5194/acp-13-10081-2013>

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO^a. (2022). Meat Market Review. Overview of market and policy developments 2021, Rome.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/610dc507-c001-41c0-9a12-36ee80190572/content>

Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO^b. (2022). Pequeños rumiantes, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. Consultado el día 5 de mayo del 2023. Sitio web: <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/dairy-animals/small-ruminants/es/>

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO^c (2018). Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT: statistics database.

Furtado, D. A., Carvalho Júnior, S. B., De Souza, B. B., De Dantas, N. L. B., & Rodríguez, L. R. (2021). INGESTIVE BEHAVIOR OF SANTA INÊS SHEEP UNDER THERMONEUTRALITY AND THERMAL STRESS UPON CONSUMPTION OF SALINE WATER. *Engenharia Agrícola*, 41(1), 19–24.
<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n1p19-24/2021>

Giraldo, D. y Uribe, L. (2012). Estrategias para mejorar la condición corporal posparto en vacas de carne. *Biosalud*. 11(1):19 ISSN 1657-9550
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S165795502012000100008

- Haenlein, G. (2001). Past, present, and future perspectives of small ruminant dairy research. *J Dairy Sci.* 2001; 84(9):2097– 2115. [https://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74655-3](https://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74655-3)
- Hernández, M. (2006). La vida en los desiertos mexicanos. México: FCE, SEP, CONACYT, CAB.
- Hernández, R. y Díaz, T. (2011). Las grasas sobrepasantes y su efecto sobre la actividad productiva y reproductiva en rumiantes, *Innovación y Tecnología en la Ganadería Doble Propósito*. Pp.333-343. Astro Data S.A. ISBN 978-980-6863-10-1
- Herrero, M., Havlík P, Valin, H., Notenbaert, A., Rufino, M. C., Thornton, P. K., Blümmel, M., Weiss, F., Grace, D. y Obersteiner, M. (2013). Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proc Natl Acad Sci U S A.* Dec 24;110(52):20888-93. doi: 10.1073/pnas.1308149110. PMID: 24344273; PMCID: PMC3876224.
- Indu, S., Sejian, V., Naqvi, S. (2014). Impact of simulated heat stress on growth, physiological adaptability, blood metabolites and endocrine responses in Malpura ewes under semi-arid tropical environment. *Animal Production Science*, 55, 766-776. <https://doi.org/10.1071/AN14085>
- International Wool Textile Organisation – IWTO. (2022). World Sheep Numbers & Wool Production, IWTO Market Information Ed.17. Consultado el día 23/05/2024. Sitio web: www.iwto.org <https://iwto.org/wp-content/uploads/2022/04/IWTO-Market-Information-Sample-Edition-17.pdf>
- Kadzere, C., Murphy, M., Silanikove, N. y Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Liv. Prod. Sci.* 77: 59-91
- Kandemir, C., Kosum, N. y Taskin, T. (2013). Effects of heat stress on physiological traits in sheep. *Macedonian Journal of Animal Science*, 3:25–29. ISSN 1857 – 6907
- Leite, J. H. G. M., Façanha, D. A. E., Costa, W. P., Chaves, D. F., Guilhermino, M. M., Silva, W. S. T., & Bermejo, L. A. (2017). Thermoregulatory responses related to coat traits of Brazilian native ewes: an adaptive approach. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 353–359. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1302877>
- Marai, I., Habeeb, A. y Gad, A. (2002). Reproductive traits of female rabbits as affected by heat stress and light regime, under sub-tropical conditions of Egypt. *J. Anim. Sci.* 75:451–458.

- Martínez-Marín, Andrés L.; Pérez-Hernández, Manuel; Pérez-Alba, Luís; Gómez-Castro, Gustavo; Carrión-Pardo, D. (2011). Efecto de las fuentes de grasa sobre la digestión de la fibra en los rumiantes REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*.12(7):1-21. DOI: 63622567007
- Martínez-Partida, J., Jiménez, L., Herrera, J., Valtierra, E., Sánchez, E. y López, M. (2011). Ganadería ovino - caprina en el marco del programa de desarrollo rural en Baja California, *Universidad y Ciencia*, 27(3): 331-344
- McManus,C., Faria, D., Lucci, C., Louvandini, H., Pereira, S. y Paiva, S. (2020). Heat stress effects on sheep: Are hair sheep more heat resistant?, *Theriogenology*, 155: 157-167.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.047>
- Melo, M.F. (2023). Temperaturas extremas que baten récords. Statista. COMUNICADO DE PRENSA.
<https://es.statista.com/grafico/30378/dsdrecords-de-alta-temperatura-de-los-ultimos-seis-anos-en-paises-seleccionados/>
- Menocal, E.y Pickering L. (2006). Informe de evaluación nacional. Desarrollo Rural 2005. 73 pp.
<http://www.sagarpa.gob.mx/info/programas/evaluacion/Archivos/APC/2005%20Desarrollo%20Rural.pdf>
- Miller, B. y Lu, Ch. (2019). Current status of global dairy goat production: an overview, *Asian-Australas J Anim Sci*. 2019 Aug; 32(8): 1219–1232. doi: 10.5713/ajas.19.0253
- Munilla, M. E., Lado, M., Vittone, J. S. y Romera, S. A. (2019). Bienestar animal durante el período de engorde de bovinos. *Revista Veterinaria*, 30(2), 82–89. <https://doi.org/10.30972/vet.3024138>
- Neves M., De Azevedo M., Barros M., Guim A., Leite A., Chagas J. (2009). Níveis críticos do Índice de Conforto Térmico para ovinos da raça Santa Inês criados a pasto no agreste do Estado de Pernambuco, Brasil. *Acta Sci Anim Sci* 2009;31(2):167-175. Sitio web: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303126496011>
- Niderkorn, V., Martin, C., Rochette, Y., Julien, S. y Baumont, R. (2015). Associative effects between orchard grass and red clover silages on voluntary intake and digestion in sheep: Evidence of a synergy on digestible dry matter intake. *J Anim Sci*; 93(10):4967–4976.
<https://doi.org/10.2527/jas.2015-9178>
- Oliveira, R., Carvalho, G., Oliveira, R., Tosto, M., Santos, E., Ribeiro, R., Silva, T., Correia, B. y & Rufino, L. (2017). Palm kernel cake obtained from

biodiesel production in diets for goats: feeding behavior and physiological parameters, *Trop Anim Health Prod*. DOI: 10.1007/s11250-017-1340-6

Organización Meteorológica Mundial- OMM. (2024). La OMM confirma la verificación de un nuevo récord de temperatura en Europa continental. COMUNICADO DE PRENSA. <https://wmo.int/es/news/media-centre/la-omm-confirma-la-verificacion-de-un-nuevo-record-de-temperatura-en-europa-continental>

Organización Mundial de la Sanidad Animal-OMSA. (2017). El bienestar animal: una ventaja para la industria ganadera, Comité editorial del Boletín OMSA. <http://dx.doi.org/10.20506/bull.issue.2017.1.2586>

Organización Mundial de Sanidad Animal-OMSA. (2024). Bienestar animal: un bien vital para un mundo más sostenible. Paris, 8 pp. <https://doi.org/10.20506/woah.3445>.

Pacheco, J. y Pacheco D. (2021). Elaboración de grasa de sobrepaso a partir de aceites reciclados por medio de la reacción de saponificación para alimentación animal, Tesis (Ingeniería Química Industrial), Instituto Politécnico Nacional, ESIQIE, 2021, 1 archivo PDF, (66 páginas). <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/29328#:~:text=RESUMEN%3A%20La%20grasa%20de%20sobrepaso,del%20aparato%20digestivo%20del%20rumiante>

Paiva, A. (2010). Desempenho de cordeiros Santa Inês recebendo dietas com incluso de gordura protegida e vitamina E, Trabajo Magister Scientiae. Universidade Federal Dos Vales Do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina – Mina Gerais

Peacocka, C. y Shermanb, D. (2010). Sustainable goat production: some global perspectives. *Small Ruminant Research*. 89(6): 70–80
doi:10.1016/j.smallrumres.2009.12.029

Pereira, L. (2011). *Níveis crescentes de gordura protegida na terminação de cordeiros em confinamento*, Universidade Federal Da Grande Dourados. Dourados – MS.

Rashamol, V., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Archana, P. y Bhatta, R. (2018). Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review, *J. Anim Behav Biometeorol*, 6:62-71. <https://www.jabbnet.com/article/10.31893/2318-1265jabb.v6n3p62-71/pdf/jabbnet-6-3-62.pdf>

Red Mexicana de Cuencas. (2022). Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación, Red Mexicana de Cuencas.

<https://remexcu.org/index.php/publicaciones/boletines/17-manejo-integral-cuencas/45-las-zonas-aridas-y-semiaridas-de-mexico-y-su-vegetacion>

Rúa, B., Rosero, R. y Posada, S. (2017). Efecto del sistema de producción sobre producción de leche y consumo de alimento en cabras. *Rev MVZ Córdoba*, 22(3):6266–6275. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1131>

Sánchez-Mendoza, B., Flores-Villalva, S., Rodríguez-Hernández, E., Anaya-Escalera, A. M. y Contreras-Contreras, E. A. (2020). Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(Supl. 2), 126-145. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4742>

Sanmiguel, A. y Diaz, V. (2011). Mecanismos fisiológicos de la termorregulación en animales de producción, *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 4 (1). <https://repository.ut.edu.co/server/api/core/bitstreams/533ea990-3f49-4cec-a019-79d8e87111a7/content>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural en la Región Lagunera. (2024). BOLETÍN INFORMATIVO PRODUCCION AGROPECUARIA Y EL CLIMA - REGION LAGUNERA, Subdelegación de planeación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/892297/BOLET_N_INF_AGROP_Y_CLIMA_No_1.pdf

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Atlas agroalimentario-SADER. (2019). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Atlas agroalimentario 2012-2018. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/AtlasAgroalimentario-2018.

Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J., Kumar-Malik, P., Naqvi, S. y Lal, R. (2017). *Adapting Sheep Production to Climate Change*, Springer Nature Singapore Pte Ltd. Pag. 22. DOI 10.1007/978-981-10-4714-5

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera - SIAP^a. (2023). Población ganadera – Ovina. SIAP. https://nube.siap.gob.mx/poblacion_ganadera/

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera - SIAP^b. (2023). Panorama Agroalimentario 2023, SIAP. https://drive.google.com/file/d/1FWHntHMgJw_uOse_MsOF9jZQDAm_FOD9/view

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera – SIAP^c (2021). Anuario estadístico de la producción ganadera, SIAP. https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/. 2021

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera – SIAP^d (2024). Panorama Agroalimentario 2024, SIAP. https://drive.google.com/file/d/1NXcDhaB63Z94wjRUVF6f_FK0Urv6cgvJ/view
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera – SIAP^e (2023). Población ganadera, SIAP. https://nube.siap.gob.mx/poblacion_ganadera/
- Servicio Meteorológico Nacional-SMN. (2024). Pronóstico de Temperaturas. <https://www.gob.mx/smn/articulos/temperaturas-maximas-del-pais>
- Sierra, I. (1996). *Sistemas de producción ovina. En: Zootecnia. Bases de producción animal*. Tomo VII. Producción ovina. Ed. Mundi-Prensa. Madrid
- St-Pierre, R., Cabanov, B. y Schnitkey G. (2003). Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries, J Dairy Sci, 86 (E. Suppl.): E52-E77. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5)
- Tarango Arámbula, L. (2005). Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México, *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 4(2):17-21. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545052003>
- Tüfekci, H. y Sejian, V. (2023). Stress Factors and Their Effects on Productivity in Sheep. *Animals*.13(17): 2769. DOI: 10.3390/ani13172769
- Vázquez-Martínez, I., Jaramillo-Villanueva, J. L., Bustamante-González, A., Vargas-López, S., Calderón-Sánchez, F., Torres-Hernández, J. y Pittroff, W. (2018). Estructura y tipología de las unidades de producción ovinas en el centro de México. *Rev. Agricultura, sociedad y desarrollo*; 15(1). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722018000100085
- Vicente, R., Macías, U., Avendaño, L., Correa, A., López, M. y Lara, A. (2020). Impacto del estrés por calor en la producción de ovinos de pelo. Revisión, *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 11(1). DOI: 10.22319/rmcp.v11i1.4923
- Villa, M. (2010). *Suplementación de ovinos*, Ganadería, INTA.
- Zhang, M., Dunshea, F., Warner, R., DiGiacomo, K., Osei-Amponsah, R. y Chauhan, S. (2020). Impacts of heat stress on meat quality and strategies for amelioration: a review. *International Journal of Biometeorology* 64: 1613-1628. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-020-01929-6>

CAPÍTULO 3. SUPPLEMENTATION WITH RUMEN-PROTECTED FATS REDUCES RECTAL TEMPERATURE AND IMPROVES PRODUCTIVE PERFORMANCE OF FATTENING LAMBS UNDER HEAT STRESS

Alma B. Jaramillo-Castro^{1*}, Marco A. Lopez-Santiago¹, Sandra P. Maciel-Torres¹, Pablo Arenas-Baez¹, Jorge A. Maldonado Jáquez², Lorenzo D. Granados-Rivera³

¹Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-UACH. C.P. 35230 Bermejillo, Dgo., México.

²Campo Experimental La Laguna-INIFAP. C.P. 27440. Matamoros, Coahuila, México. ³Campo Experimental General Terán-INIFAP. C.P. 67400. General Terán, Nuevo León, México

*Corresponding author: maldonadoj.jorge@hotmail.com

ABSTRACT

Heat stress significantly influences productivity, especially in arid regions where temperatures often exceed the thermoneutral limits of lambs. This study evaluates the effects of rumen-protected fat supplementation as a heat stress mitigation strategy on productive behavior and thermoregulation of Dorper lambs in a hot, dry climate. Twenty-one lambs were assigned to three treatments receiving 0, 50 and 100 g d⁻¹ of rumen-protected fat. For 13 weeks, data were collected on dry matter and water intake, body temperature (monitored by thermography and rectal measurements) and weight gain. Lambs receiving 50 g d⁻¹ of protected fat showed an increase ($P < 0.05$) in dry matter and water intake and experienced lower rectal and cephalic temperatures compared to the control group. However, the study noted that high levels of protected fat (100 g d⁻¹) could negatively affect intake. These results suggest that protected fat is a viable dietary strategy to improve heat tolerance in lambs, promoting productivity and welfare in adverse thermal environments. Likewise, the use of noninvasive thermography provided information on temperature variation in different regions of the body, although it was less sensitive to changes under conditions of mild heat stress.

Keywords: Body temperature, Energy consumption, Sheep, Thermal equilibrium, Thermography, Heat stress.

3.1 Introduction

High temperatures during the summer season surpass the thermoneutral zone of sheep, causing body temperature to rise (Nicolás-López et al., 2021). The increased body temperature triggers physiological and behavioral changes in the animal, trying to reestablish thermal equilibrium (Vicente-Pérez et al., 2020). Such changes include a decrease in feed intake and, an increase in respiratory, transpiration, and heart rate (Macías-Cruz et al., 2016). If these mechanisms fail to achieve thermoneutrality, the animal enters a state of heat stress (HS) condition, negatively affecting animal productivity (Zhang et al., 2020) by increasing energy expenditure in biological maintenance. This ultimately decreases feed efficiency (Macías-Cruz et al., 2020) and animal quality products (Tüfekci & Sejian, 2023).

Climate change is emerging as a significant constraint on lamb production, particularly in regions prone to rising temperatures and humidity. Although sheep exhibit some resilience to heat, young lambs are especially vulnerable due to their higher metabolic demands and limited thermoregulatory capacity. Rahimi et al. (2021) project an increase in the frequency of “Severe/Danger” heat stress events across East Africa, with implications for growth performance, immune function, and survival rates in lambs. Heat stress can reduce feed intake, impair rumen function, and compromise postnatal development—factors that collectively threaten productivity and economic viability. As climate pressures intensify, it becomes critical to implement adaptive strategies—such as thermotolerant genetics, dietary interventions, and microclimate modifications—to ensure sustainable lamb production under increasingly hostile environmental conditions.

Sheep are considered tolerant to HS deleterious effects (Nicolás-López et al., 2021; Barragan et al., 2021). However, to improve the welfare and productivity of sheep suffering HS, animals should be provided with high-energy diets (Coppock & Wilks, 1991), such as those with protected fats. Protected fats are energy-dense ingredients that help regulate physiological response and metabolic homeostasis

(Saeed & Khalaf, 2014). Which in turn improves the thermoregulatory capacity and productive behavior of lambs under HS. It is documented that dietary supplementation with protected fat in ruminants induces a positive change in cellular glucose uptake (Hötger et al., 2013; Granados-Rivera et al., 2017; Halakoo et al., 2020), resulting in improved metabolic response to HS.

Although the use of protected fat in the management of lambs' thermoregulation under HS conditions has been studied, the results show a high variation in the overall response on growth performance and body temperature behavior (Choi et al., 2016; Dunshea et al., 2017; Dos Santos et al., 2019; Halakoo et al., 2020). This generates the need for further research to optimize protected fat supplementation as a nutritional strategy to improve the thermoregulatory capacity and productive performance of meat-producing lambs in hot environments.

On the other hand, it is also necessary to have tools to help determine HS in lambs. In this regard, rectal temperature is a physiological constant that works as an indicator of heat tolerance and health status. However, the traditional method for the evaluation of this physiological constant implies the insertion of a manual thermometer into the animal rectum, being an invasive activity because it requires a firm hold of the animal. Consequently, additional stress occurs in the animal, which can lead to an overestimation of rectal temperature (Godyn et al., 2019). Therefore, it is necessary to make use of non-invasive techniques to evaluate the response of dietary ingredients as a strategy to decrease the HS in animals, without generating further stress. In this regard, the use of thermography seems to be a viable option (Ghezzi et al., 2024).

While previous studies have established some benefits of dietary fat supplementation in ruminants under heat stress, critical knowledge gaps remain regarding the dose-dependent effects of protected fat inclusion on both thermoregulation and productive behavior, the threshold beyond which fat supplementation may impair intake or metabolic balance, and the suitability of

thermographic imaging for evaluating thermal responses under mild to moderate heat stress, which remains an underexplored area despite the growing interest in non-invasive physiological assessments.

Moreover, there is limited integration of thermographic monitoring with performance outcomes to assess the thermal resilience conferred by dietary interventions. This methodological gap constrains the development of reliable tools for early HS detection and the validation of nutritional strategies in field conditions.

The novelty of the present study lies in its dual approach. 1) Evaluating the physiological and productive effects of graded levels of rumen-protected fat in lambs under naturally occurring heat stress conditions, and 2) validating infrared thermography as a complementary, non-invasive monitoring tool alongside traditional temperature metrics. This approach enables a more nuanced understanding of the nutritional-physiological interface under thermal stress and addresses current gaps in precision heat stress management in small ruminants.

Therefore, the objective of this study was to evaluate the effects of supplementing rumen-protected fat in the diet of fattening lambs on their productive behavior and body temperatures using thermographic tools. The findings of this study may contribute to the development of refined feeding strategies and non-invasive diagnostic tools for managing heat stress in sheep production systems, particularly in arid and semi-arid regions where thermal challenges are recurrent and intensifying under climate change scenarios.

3.2 Materials and methods

3.2.1 Ethics statement

The animals were handled in accordance with the Mexican Official Standard NOM-062-ZOO-1999. Technical specifications for the production, care and use of laboratory animals, were taken into consideration to maintain the welfare and

health of the animals during the experimental period (SENASICA, 2016) under the institutional committee agreement SIGI: 12221936526.

3.2.2 Location, lambs, experimental design, and treatments

The study was conducted at the Zootechnical Station of the Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas of the Universidad Autónoma Chapingo (UACh) in Bermejillo, Durango, Mexico. The place is located at 25° 52'28" N and 103° 37'07" W at 1119 m. In accordance with the Köppen climate classification, the region is designated as BWhw (very dry or desertic climate). The region experiences a semi-warm climate, with cold winters. The mean annual precipitation is 240 mm. The mean annual temperature is 25 °C in the shade, ranging from -1 °C in winter to 44 °C in summer (García, 2004).

Twenty-one 45-day-old Dorper lambs (14 ± 2.85 kg body weight (BW)) were used as experimental units. The lambs were assigned to one of three treatments, T1)= 100 g rumen-protected fat, n=7, BW= 14.2 ± 4.1 kg; T2)= 50 g rumen-protected fat n=7, BW= 13.9 ± 2.3 kg; T3) No inclusion of rumen-protected fat, n=7, BW= 13.8 ± 2.2 kg.

3.2.3 Feeding and health management

Dietary feed was developed in accordance with NRC (2007) guide lines to meet the nutrient needs of sheep gaining 300g per day. The diet's components and chemical composition are listed in Table 1. The animals were fed with a total mixed ration (TMR) for 13 weeks. The lambs were permitted a 15-day period in which to acclimatise to the new diet. They had *ad libitum* access to clean and fresh drinking water. The animals were subjected to deworming (Endectoplex L.A + ADE®, 1ml 50-1 kg, Mediker, Gomez Palacio, Durango, México), vaccination (Clostridium and Anthrax) and vitamin application at the beginning of the study (A-5 Mineralizer with Vit. D®, 1-5 ml animal-1 and Sel + Vit. E®, 0.25 ml animal-1; Interprode; Zapopan, Jalisco, México). The animals were housed in individual pens equipped with feeders and drinkers. The BW was weekly recorded and the

amount of feed offered was weekly adjusted at 5% of the BW. At day 40, commercial rumen-protected fat ((82 % palmitic acid, 9.6% calcium and 5.95 Mcal/Kg Net Energy for Lactation; LactoMil®, Oleofinos, Monterrey, Nuevo León, Mexico) was gradually added to the lamb's ratio until 50 and 100g were reached, depending on the assigned treatment (at 47 day). The rationale behind the selection of this dose is twofold: firstly, the findings of earlier research conducted in the same geographical area (northeastern Mexico) yielded favourable outcomes in the productive variables of lambs, and secondly, the dose in question is analogous to a protected fat that has been previously characterized in said studies. However, the effect of heat stress on the animals was not reported.

3.2.4 Dry matter and water intake

The amount of feed offered and rejected by each animal was measured using a digital scale (Truper®, BASE-5EP, China. Capacity 5kg±1 g). The amount of water that each animal drank was calculated by measuring the offered and rejected water using a graduated cylinder (BELAR11751, BEL-ART, USA, Capacity 1 L).

3.2.5 Infrared thermography measures

Rectal temperature was recorded every week by using a digital thermometer (Deltatrak Auto-cal; Mod. 11063, Jalisco, Mexico) at 7:00, 15:00 and 19:00 h. Infrared thermographic camera (Fluke Ti400, Everett, WA, USA) was used to obtain the external temperatures in the following anatomical sites: head, ear, loin and groin. The thermografical images were taken at a distance of 1-1.5 m, always on the right side of the animal. The emissivity coefficient used to obtain the images was 0.98. The lambs at the time of the readings were kept in the shade to avoid the impact of solar radiation on the final value of the temperatures. Temperatures were recorded three times on the day of sampling. Fasting, one and two hours after offering feed and water, respectively. At the end of each sampling day, images were downloaded using Fluke Smart View® 3.9 software.

3.2.6 Calculation of temperature and humidity index

The ambient temperature and relative humidity data were recorded each day using a digital electronic wall-mounted thermometer-hygrometer (OEM, China), which was installed inside of the individual pens. The information was recorded three times per day (8:00, 15:00 and 19:00 h). In addition, the minimum and maximum relative humidity and temperatures were recorded in a 24-hour period.

The temperature and humidity index (THI) was calculated to obtain the stress ranges reported in the literature for arid zones (Figure 1): R1 (Comfort; $THI \leq 72$), R2 (Light heat stress $THI > 72 - < 79$), R3 (Moderate heat stress; $THI > 80 - < 89$) by using the following equation (NRC, 1971):

$$THI = (1.8 \times T + 32) - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times T - 26)$$

Where T, is the average temperature in °C, and RH is the average relative humidity expressed in %.

3.2.7 Statistical analysis

The information was entered in Excel spreadsheets and the assumptions of homogeneity of variances and normality were checked. The statistical analysis was performed as a completely randomized design (CRD) with three treatments and seven replicates per treatment in a repeated measures arrangement. The Bayesian information criteria of Schwartz and Akaike were obtained to help determine the most appropriate covariance structure for each trait. The least mean squares comparison was performed through the adjusted LSD test (SAS, 2008). The general structure of the model was:

$$Y_{ijklm} = \mu + R_i(j) + TR_j + TH_{lk} + Tim + TR_k * Tim + TH_{lk} * Tim + E_{ijklm}.$$

Where:

Y_{ijklm} = dependent trait; μ = overall mean; $R_i(j)$ = random animal effect; TR_j = fixed effect of j-th treatment (j=1,2,3); TH_{lk} = fixed effect of the k-th temperature-

Humidity index ($I=1,2,3$); Til = fixed effect of the I -th experimental week ($I=1, \dots, 13$); $TR_j \times Til$ = Treatment*Week interaction; $THI_k \times Tim$ = $THI_l \times Tim$ = Temperature-Humidty Index*Week interaction; E_{ijklmn} = residual error

Table 1. Ingredients and chemical composition of the total mixed ratio offered to fattening Dorper lambs.

Ingredients	% MS	
Rolled corn	17.1	
Ground corn	17.1	
Wheat bran	9.0	
Soybean paste	9.0	
Urea	1.0	
Molasses	4.8	
Ground tritcale hay	8.0	
Ground alfalfa hay	32.0	
Mineral premix-Bovi-8-ways*	2.0	
Nutrient	Content (%)	
	TMR	Rumen-protected fat
Dry Matter (DM)	93.34	46.38
Crude protein (CP)	14.2	0.19
Neutral detergent fiber (NDF)	34.58	7.13
Acid detergent fiber (ADF)	19.06	8.21
Total Digestible Nutrients (TDN)	78.14	---
Net Energy of Maintenance (NEm MJ kg ⁻¹)	7.85	12.8
Net Energy Gain (NEg MJ kg ⁻¹)	5.09	---

Bovi-8-ways (Compound of 8 microminerals in yeast (organic minerals): Se, Cr, Cu, Zn, Co, Mn, I and Fe, *Saccharomyces cerevisiae* type yeast enriched with vitamin E.; Biotechap Group, USA).

3.3 Results

The climatic conditions during the experimental period are shown in Table 2. Air temperature and THI varied from 15.1 to 30.9 °C and between 58.9 to 74.2 units, respectively (Figure 1). The maximum temperature and THI values were recorded between the 15:00 and 20:00 h, while the minimum values were between the 07:00 and 08:00 h. Under this scenario, the lambs were raised under mild heat stress. This is important because the environmental conditions were not extreme enough to compromise the lambs' well-being, which facilitated the study's objectives.

Table 2. Climatic conditions during the experimental period.

	Average $\pm$ SD	Minimum	Maximum
Temperature ($^{\circ}$ C)	33.3 $\pm$ 9.4	27.4 $\pm$ 3.7	38.3 $\pm$ 2.1
Relative humidity (%)	18.0 $\pm$ 1.7	10.0 $\pm$ 0.8	38.0 $\pm$ 0.3
^a THI (Units)	76.3 $\pm$ 12.5	71.0 $\pm$ 8.5	80.8 $\pm$ 6.3

^aTemperature - humidity index

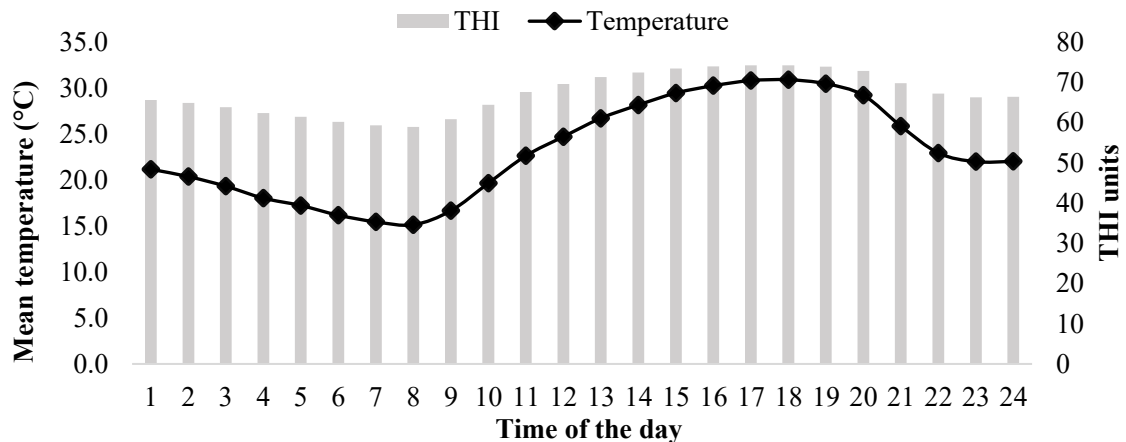
**Figure. 1** . Daily pattern of mean air temperature and temperature-humidity index (THI) during the experimental period.

Table 3 shows the results of feed intake, water, final body weight (BW), daily weight gain (DWG) and body temperatures recorded in the experimental units. The inclusion of 50 g d⁻¹ of rumen-protected fat increased dry matter intake ($p < 0.01$), water intake ($p < 0.01$) and final BW ($p < 0.05$) in lambs. The DWG tend to be higher in lambs supplemented with 50 g d⁻¹ of rumen-protected fat ($p = 0.09$). There was a treatment $\times$ time effect on dry matter intake ($p < 0.01$; Figure 2), final BW ($p < 0.01$) and DWG ($p < 0.01$). The rectal ($p < 0.01$) and head temperature ($p < 0.01$) were lower in lambs supplemented with 50 g d⁻¹ of rumen-protected fat in comparison to other treatments. The loin temperature trend to be lower in lambs supplemented with rumen-protected fats in comparison lambs with not fat supplementation.

Table 3. Means of dry matter and water intake, final live weight, daily weight gain and body temperature in Dorper lambs fed with a ratio containing two levels of rumen-protected fat.

Traits	Treatments				p-value		
	¹ 100 g	² 50 g	Contro l	SEM	Treatmen t	Week	T*W
					(Trat)	(W)	
³ DMI (kg d ⁻¹)	1.1 ^b	1.3 ^a	1.0 ^c	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
⁴ WI (L d ⁻¹)	4.1 ^b	4.2 ^a	3.8 ^c	0.27	<0.01	<0.01	0.49
⁵ PV (kg)	38.38 _a	39.20 _a	35.36 ^b	2.03	0.04	<0.01	<0.01
⁶ DWG (g d ⁻¹)	196	235	217	16.8	0.09	<0.01	<0.01
Temperature (°C)							
Head	33.0 ^a	32.6 ^c	32.7 ^b	0.55	<0.01	<0.01	0.39
Ear	33.9	33.9	33.9	0.40	0.94	<0.01	0.41
Loin	31.6	31.7	31.8	0.23	0.09	<0.01	0.94
Groin	35.1	35.1	35.3	0.56	0.12	<0.01	0.15
Rectal	39.4 ^a	39.3 ^b	39.5 ^a	0.08	<0.01	<0.01	0.48

^{abc} Means between rows with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$); ¹100 g rumen-protected fat; ²50 g rumen-protected fat; ³DMI=dry matter intake; ⁴WI= water intake; ⁵BW=body weight; ⁶DW= daily weight gain; T*W= treatment*week interaction.

Figure 2 shows the behavior of dry matter intake during the experimental period. All lambs showed a constant and increasing behavior as the weeks progressed. Nevertheless, the group feed with 100 g of rumen-protected fat a decrease in feed intake was observed, meanwhile, the group with 50 g of rumen-protected fat maintained a positive dry matter intake throughout the experimental period. From this, it is inferred a negative effect of this additive in quantities of 100 g or more.

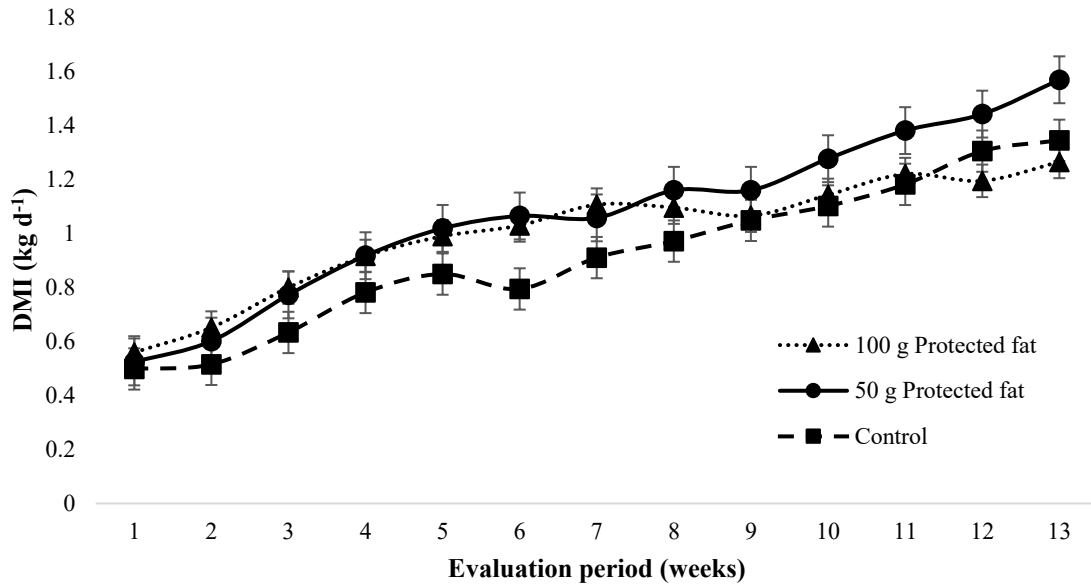


Figure. 2. Differences in feed intake between Dorper lambs supplemented with 50 to 100 g d⁻¹ of rumen-protected fat. DMI= dry matter intake. **= Indicate significant differences between treatments (P<0.05).

Figure 3 shows water consumption throughout the experimental period. The lambs maintained a positive and constant consumption of water until the end of the experimental period. On the other hand, it was observed that as air temperature increase the relative humidity decrease. Likewise, at the end of the experimental period, an effect of low temperature and high relative humidity was detected, which coincided with the presence of rain in week eleven (Figure 4). In addition Table 4 show results when evaluating the effect of THI, an increase ($p<0.05$) in head and rectal temperature was recorded when lambs were in THI with mild or moderate stress. Similarly, an interaction (THI * Week) was recorded for loin temperature ($p<0.05$).

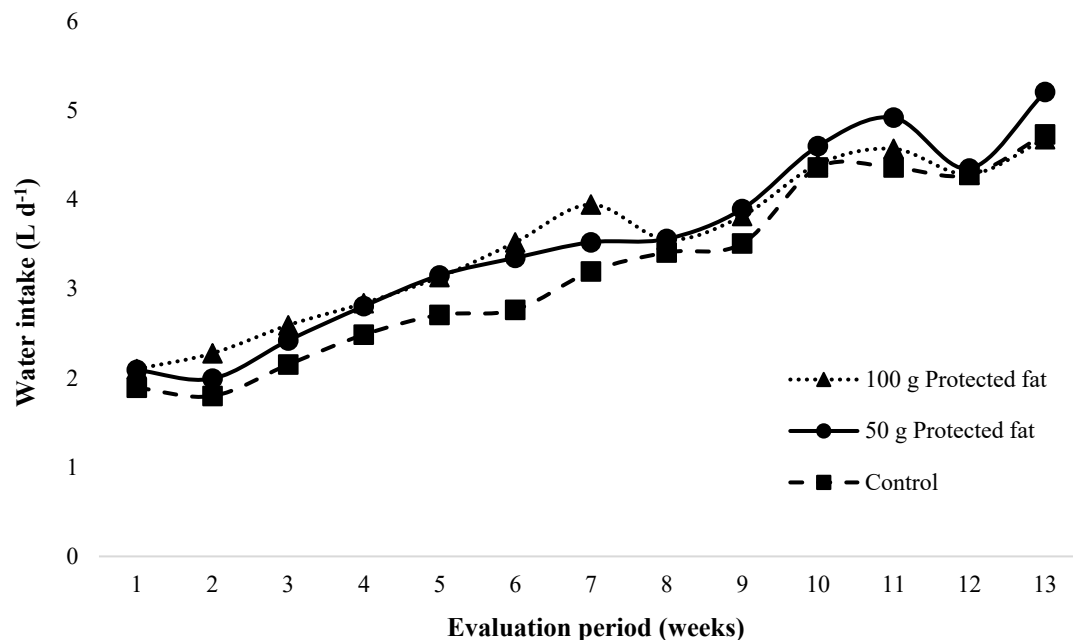


Figure. 3. Differences in water intake between Dorper lambs supplemented with 50 to 100 g d⁻¹ of rumen-protected fat. **= Indicate significant differences between treatments (P<0.05).

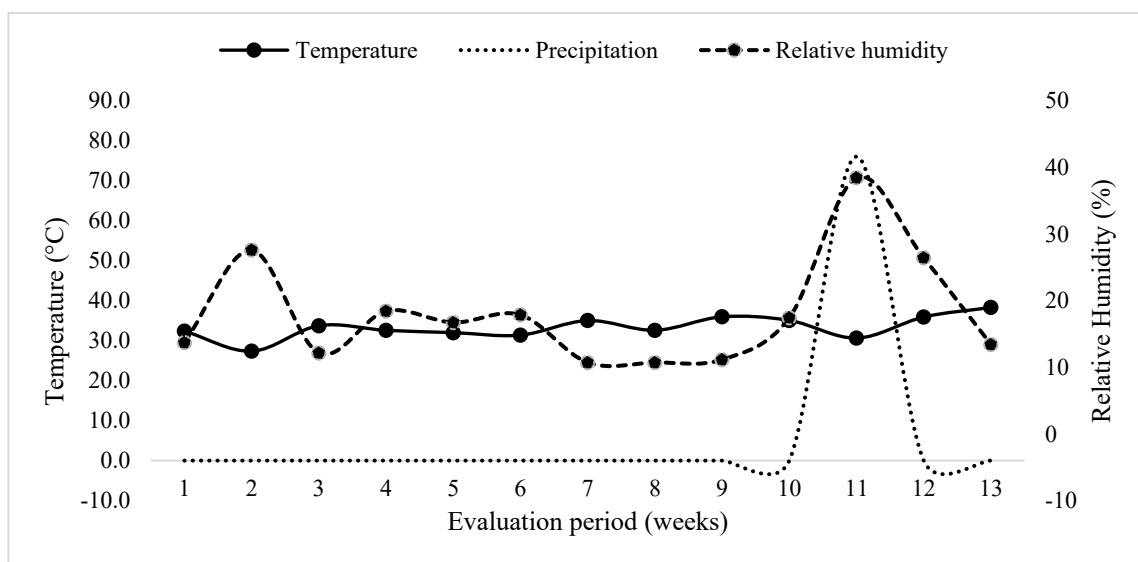


Figure. 4. Environmental temperature, relative humidity and precipitation during the experimental period in the finishing phase of Dorper lambs.

Table 4. Means of temperature and humidity index (THI) ranges for feed intake, water and body temperature in finishing Dorper lambs.

Variables	Temperature and humidity index			SEM	p-value		
	Comfort ¹	Mild stress ²	Moderate stress ³		THI	Week	THI*W
					(THI)	(W)	
Temperature (°C)							
Head	30.7 ^b	31.7 ^a	31.1 ^a	0.12	0.05	<0.01	0.55
Ear	32.5	33.2	32.3	1.59	0.49	<0.01	0.98
Loin	29.8	30.4	30.3	0.44	0.51	<0.01	0.04
Groin	34.1	34.6	33.4	1.38	0.67	<0.01	0.98
Rectal	38.8 ^b	39.4 ^a	39.4 ^a	0.07	0.05	<0.01	0.92

¹Comfort = THI ≤72; ²Mild stress= THI 72-79; ³Moderate stress= THI 80-89.

3.4 Discussion

The results of the present study underscore the thermoregulatory and productive benefits of supplementing fattening lambs with rumen-protected fat under conditions of mild to moderate heat stress. Notably, lambs receiving 50 g d⁻¹ of rumen-protected fat exhibited significantly improved dry matter intake (DMI), water intake, and final body weight, alongside reduced rectal and head temperatures compared to the control group. These findings are indicative of improved metabolic efficiency and thermal resilience in heat-challenged animals.

In this regard, northwest Mexico is distinguished by the prevalence of extreme temperatures, particularly during the summer months. This is typically problematic for sheep production, as the thermoneutral zone for lambs of hair breeds is between 15 and 30 °C. Consequently, they experience HS when the ambient temperature exceeds 30 °C and when the THI is greater than 78 units (Vicente-Pérez et al., 2020). Accordingly, the lambs in our study were subjected to conditions of mild stress for the majority of the experimental period (Hahn, 1999).

The mechanisms by which protected fat enhances thermoregulation under heat stress are multifactorial. First, the high caloric density of protected fat (i.e., rumen-inert lipid sources such as palm oil-derived palmitic acid) allows for increased energy intake without elevating metabolic heat production associated with ruminal

fermentation (Macías-Cruz et al., 2018; Coppock & Wilks, 1991). Unlike carbohydrates, which are metabolized through fermentative pathways that generate considerable endogenous heat, protected fats bypass the rumen and are directly absorbed in the small intestine, providing energy more efficiently under thermally stressful conditions (Saeed & Khalaf, 2014; NRC, 1985).

Second, lipid supplementation has been associated with modulations in glucose metabolism and hormonal balance. In particular, Halakoo et al. (2020) observed that fat supplementation under HS conditions improves serum glucose and triiodothyronine (T3) concentrations—key regulators of metabolic rate and thermogenesis. Enhanced glucose availability supports cellular energy needs during HS, while moderated thyroid activity reduces heat production. Hötger et al. (2013) and Granados-Rivera et al. (2017) further demonstrated that dietary lipids enhance peripheral glucose uptake, which may offset the HS-induced decline in muscle glucose oxidation (Gibbs et al., 2021). These physiological adjustments likely contributed to the improved feed efficiency and thermal comfort observed in lambs supplemented with 50 g of rumen-protected fat in this study.

Furthermore, the higher water intake observed in the supplemented groups reflects an adaptive response to mitigate evaporative and respiratory water losses under HS conditions (Macías-Cruz et al., 2018). Lipid metabolism itself also increases metabolic water yield, which may contribute to maintaining hydration status and reducing thermal load (Akinmoladun et al., 2019).

Heat stress caused a reduction in DMI, which negatively influenced the growth rate of lambs (Table 1). The impact of HS on DMI are controversial, some research indicates that HS (Sejian et al., 2018) reduce DMI, while others report that HS has no effect on DMI (Mahjoubi et al., 2014). On the other hand, it appears to be a consensus among researchers that HS (Mahjoubi et al., 2014; Sejian et al., 2018; Macías-Cruz et al., 2018) affect the growth rate of lambs. In our results it is important to note that the lambs that consumed 50 g of rumen-protected fat, did not exceed the body temperatures evaluated when compared to

the lambs of the control group, then when DMI is not affected by HS, the growth rate is reduced as result of increased redirection of dietary nutrients to thermoregulation (Macias-Cruz et al., 2018).

Conversely, the reduction of DMI is a thermoregulatory mechanism observed in lambs subjected to HS, as observed in our study. The objective is to reduce fermentative heat production at the rumen level, thereby decreasing the endogenously generated body heat load (Marai et al., 2007). As a consequence, growth and feed efficiency are reduced in lambs exposed to elevated temperatures (Al-Dawood, 2017). This is due to the fact that lambs subjected to HS conditions experience an increase in their maintenance requirements concurrently with a reduction in the availability of nutrients. Consequently, in order to increase the availability of required nutrients, lambs reduce their anabolic activity and increase the catabolism of fat and muscle tissue (Sejian et al., 2018). This scenario may have manifested in the lambs assigned to the control treatment in our study. This is in contrast to the findings observed in lambs that consumed rumen-protected fat (50 and 100 g d⁻¹). As a result, these lambs exhibited an increase in their DMI and consequently gained more weight. This may be attributed to the fact that the consumption of protected fat compensated for the elevated maintenance energy demand associated with heat stress conditions, which can reach up to 32% higher than under thermoneutral conditions (Macías-Cruz et al., 2018). Furthermore, it has been demonstrated that an increase in dietary energy stimulates DMI (Piola Junior et al., 2020; Teixeira et al., 2021), a phenomenon that was also observed in our study.

In terms of water consumption, the lambs that received 50 g d⁻¹ of rumen-protected fat demonstrated the highest intake. Similarly, the lowest consumption was observed in lambs subjected to the control treatment. Despite the reduction in water consumption observed in the control treatment, the water requirement was met. The requisite quantity of water is estimated to be between three and four liters for each kilogram of dry matter consumed in environments with an average temperature of 30°C (NRC, 1985). While water requirements are subject

to variation based on DMI and environmental temperature, another crucial factor to consider is body metabolism (Akinmoladun et al., 2019). In this regard, the findings of our study indicate that the inclusion of rumen-protected fat resulted in an increase in water consumption. This can be attributed to the fact that the enhanced availability of metabolizable energy led to an increase in DMI, which subsequently resulted in an elevation in metabolic heat production (Al-Dawood, 2017). To counteract this phenomenon, the lambs that were administered rumen-protected fat exhibited a rise in their water intake (Macías-Cruz et al., 2018).

The literature presents inconsistent findings regarding the impact of HS on DMI in sheep. While numerous studies report reductions in feed intake under heat stress (Sejian et al., 2018; Marai et al., 2007), others have observed negligible or even increased intake under moderate thermal loads (Mahjoubi et al., 2014). This discrepancy may arise from multiple factors including breed differences, baseline diet composition, the intensity and duration of HS, and the acclimatization status of animals (Zhang et al., 2020; Vicente-Pérez et al., 2020).

In the present study, DMI was positively influenced by the inclusion of 50 g d⁻¹ of rumen-protected fat, but declined at the 100 g level, suggesting a dose-dependent response. The DMI reduction observed at high fat inclusion may reflect diminished palatability or an inhibitory effect on rumen motility (Saeed & Khalaf, 2014), particularly in animals already coping with HS. The interaction between diet and thermal load appears critical; diets that enhance energy density without adding to fermentative heat load are likely to support intake and performance under HS, as seen here.

A further observation was the impact of protected fat inclusion on rectal and head temperature in lambs. The lowest rectal temperature (39.3 °C) and head temperature (32.6 °C) were observed in lambs that received 50 g d⁻¹ of rumen-protected fat. In this context, rectal temperature serves as an indicator of core body temperature in lambs, thereby representing a crucial physiological constant for assessing health status (Čukić et al., 2023). In this regard, Macias-Cruz et al.

(2018) conducted a study with hair lambs during summer in an arid environment, indicating that the rectal and head temperature of lambs under heat stress conditions exceeded 39 °C and 32 °C, respectively. Conversely, the highest rectal temperature was observed in the lambs of the control treatment (39.5 °C).

The observation that lambs treated with rumen-protected fat exhibited lower rectal and head temperatures than those receiving the control treatment suggests that rumen-protected fat is an effective means of regulating thermoregulatory mechanisms in the context of HS conditions. This is due to the fact that high-energy diets prompt lambs to make efficient physiological adjustments in order to reduce metabolic heat production (Nicolás-López et al., 2021). It can be reasonably inferred that the lambs in our study, subjected to HS conditions, avoided hyperthermia by activating a range of thermoregulatory mechanisms, including an increased respiratory rate, reduced thyroid hormone levels, and an adequate water balance (Sejian et al., 2017; Vicente-Pérez et al., 2020; Nicolás-López et al., 2021). In light of the aforementioned evidence, it seems plausible to suggest that the lambs in our study increased their respiratory frequency, which can result in an excessive loss of body water through the respiratory tract. This results in electrolyte imbalance and dehydration of the animal (Sejian et al., 2017).

Accordingly, augmented water intake, in conjunction with other renal adjustments designed to diminish water loss via urine and fecal matter, represents a crucial thermoregulatory mechanism that serves to prevent hyperthermia and dehydration in lambs subjected to HS conditions (Macías-Cruz et al., 2018; Vicente-Pérez et al., 2020). This assertion can be corroborated by an examination of the water consumption data presented in Table 3. Furthermore, research indicates that the inclusion of rumen-protected fat in lamb diets alters serum metabolites, including glucose and T3 hormones, which are essential for thermoregulatory mechanisms (Halakoo et al., 2020). In this regard, lambs subjected to HS have demonstrated a reduction in muscle glucose oxidation (Gibbs et al., 2021). In this context, dietary lipids may potentially offset this effect

by enhancing energy availability during periods of stress, thereby mitigating the impact on lamb performance, as evidenced by our findings.

The body surface temperature of lambs is influenced by a number of factors, including ambient temperature, hair coverage, and blood perfusion. In the present study, the lowest temperature among the surface temperatures of the lambs was observed in the loin. This may be attributed to the fact that this anatomical region has a greater density of coarse hair. This may result in the formation of an air cushion, thereby isolating the skin from thermal radiation (Vicente-Pérez et al., 2016). It is plausible that a similar phenomenon occurred with the temperature of the head.

In the case of rectal temperature, it was the sole effective method for measuring the impact of light stress and mild to moderate THI in our study. With regard to this matter, no differences were observed in head, ear, loin, and groin body temperatures when lambs were subjected to light HS in comparison to thermoneutral conditions. Similarly, with the exception of head and rectal temperature, no significant changes in temperature were observed when comparing THI in comfort, mild stress, and moderate stress, with the exception of the aforementioned areas. The findings indicate that the utilization of thermographic tools may not be an optimal approach for evaluating body temperature fluctuations in the context of mild HS conditions. While thermographic cameras have been successfully employed in the assessment of body temperature changes due to HS, the majority of studies have utilized moderate to severe stress conditions (Macias-Cruz et al., 2016; Nicolás-López et al., 2023; Čukić et al., 2023). Our literature review revealed a lack of investigation into the impact of varying levels of HS on body temperature changes in lambs through thermal cameras. It is therefore imperative to conduct further studies in this area in order to elucidate these effects and to develop more accurate and efficacious tools for the study of heat stress in lambs.

In this regard, the findings of this study align with those of Macías-Cruz et al. (2020), who reported improved carcass traits and growth performance in hair lambs under summer heat stress when supplemented with energy-dense diets. Similarly, Teixeira et al. (2021) found that higher metabolizable energy levels increased average daily gain and water intake in Dorper × Santa Inês lambs under tropical conditions.

However, environmental context and breed genetics can markedly influence outcomes. For example, Mahjoubi et al. (2014) observed no significant reduction in DMI in Afshari lambs under cyclical mild HS (32–34°C), suggesting this breed's partial resilience and potential acclimatization. In contrast, studies conducted under more severe stress or with less adapted breeds often report marked declines in intake and productivity (Dos Santos et al., 2019; Dunshea et al., 2017).

The present study, conducted in a semi-arid zone (THI range: 71–81), revealed that moderate heat stress elicited a decline in performance in the absence of dietary intervention. However, supplementation with protected fat, particularly at 50 g d⁻¹, mitigated this effect, suggesting its utility as a practical nutritional strategy for Dorper lambs, a breed moderately adapted to warm climates. Notably, the lack of significant differences in thermographic temperatures under mild HS (except rectal and head) contrasts with findings in more severe HS scenarios (Nicolás-López et al., 2023; Čukić et al., 2023), reinforcing that thermographic responses may vary with stress intensity, anatomical region, and environmental background.

3.5 Conclusion

The present study demonstrates that supplementing fattening lambs with 50 g d⁻¹ of rumen-protected fat under mild heat stress conditions improves dry matter intake, water consumption, and final body weight while reducing rectal and head temperatures. These outcomes suggest enhanced thermotolerance and metabolic efficiency in lambs receiving this level of fat supplementation. Additionally, the use of infrared thermography enabled a non-invasive

assessment of thermal status, particularly through head temperature readings, which correlated with rectal temperature changes. This supports the complementary role of thermographic tools in monitoring physiological responses to dietary interventions under field-relevant thermal conditions.

3.6 Limitations

Despite the valuable insights gained, several limitations should be acknowledged. First, thermographic imaging was not sensitive enough to detect consistent differences in all body regions under mild heat stress conditions, limiting its broader diagnostic utility. Second, the study's scope was confined to a specific breed (Dorper) and environmental range (semi-arid zone with THI 71–81), which may constrain extrapolation to other genetic backgrounds or more extreme heat conditions. Lastly, while a dose-dependent response to fat inclusion was observed, with 100 g d⁻¹ negatively affecting intake, the underlying metabolic mechanisms were not directly assessed and warrant further biochemical or hormonal analysis in future studies.

3.7 REFERENCES

- Akinmoladun, O.F., Muchenje, V., Fon, F.N., Mpendulo, C.T. 2019. Small Ruminants: Farmers' hope in a world threatened by water scarcity. *Animals*. 9(7): 456. <https://doi.org/10.3390/ani9070456>
- Al-Dawood, A. 2017. Towards heat stress management in small ruminants - a review. *Ann. Anim. Sci.* 17:59–88. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0068>
- Barragán-Sierra, A., Avendaño-Reyes, L., Hernández-Rivera, J.A., Vicente-Pérez, R., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Meza-Herrera, C. A. y Macías-Cruz, U. 2021. Termorregulación y respuestas reproductivas de carneros bajo estrés por calor. *Revisión. Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 12(3):910-931. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5624>
- Choi, S.H., Wang, J.H., Kim, Y.J., Oh, Y.K., Song, M.K., 2006. Effect of soybean oil supplementation on the contents of plasma cholesterol and cis9, trans11-CLA of the fat tissues in sheep

- Asian Australas. J. Anim. Sci. 19: 679-683.
<https://doi.org/10.5713/ajas.2006.679>
- Coppock, C.E. and Wilks, D.L. 1991. Supplemental fat in high-energy rations for lactating cows: effect on intake, digestion, milk yield and composition. *J. Anim. Sci.* 69: 3826–3837. <https://doi.org/10.2527/1991.6993826x>
- Čukić, A., Rakonjac, S., Djoković, R., Cincović, M., Bogosavljević-Bošković, S., Petrović, M., Savić, Z., Andjušić, L. y Andjelić, B. (2023). Influence of heat stress on body temperatures measured by infrared thermography, blood metabolic parameters and its correlation in sheep. *Metabolites*. 13(8): 957. <https://doi.org/10.3390/metabo13080957>
- Dos Santos, D.D.S., Klauck, V., Campigotto, G., Alba, D.F., Dos Reis, J.H., Gebert, R.R., Da Silva, A.S. 2019. Benefits of the inclusion of açai oil in the diet of dairy sheep in heat stress on health and milk production and quality. *J. Therm. Biol.* 84: 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.07.007>
- Dunshea, F.R., González-Rivas, P.A., Hung, A.T., DiGiacomo, K., Chauhan, S.S., Leury, B.J., Cottrell, J.J. 2017. Nutritional strategies to alleviate heat stress in sheep. In: *Sheep Production Adapting to Climate Change*, Sejian V., Bhatta R., Gaughan J., Malik P.K., Naqvi S.M.K., Lal R. (eds). Springer, pp. 371–388.
- García, E. (1998). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. 4th. Ed. México D.F.: UNAM.
- Ghezzi, M.D., Napolitano, F., Casas-Alvarado, A., Hernández-Ávalos, I., Domínguez-Oliva, A., Olmos-Hernández, A., Pereira, A.M.F. 2024. Utilization of infrared thermography in assessing thermal responses of farm animals under heat stress. *Animals* 14, 4: 616. <https://doi.org/10.3390/ani14040616>
- Gibbs, R.L., Swanson, R.M., Beard, J.K., Schmidt, T.B., Petersen, J.L., Yates, D.T. 2021. Deficits in skeletal muscle glucose metabolism and whole-body oxidative metabolism in the intrauterine growth-restricted juvenile lamb are improved by daily treatment with clenbuterol. *Transl. Anim. Sci.* 5 (1): S20–S24. <https://doi.org/10.1093/tas/txab187>
- Godyn, D., Herbut, P., and Angrecka, S. 2019. Measurements of peripheral and deep body temperature in cattle – A review. *J. Therm. Biol.* 79, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.11.011>
- Granados-Rivera, L.D., Hernández-Mendo, O., González-Muñoz, S.S., Burgueño-Ferreira, J.A., Mendoza-Martínez, G.D., Arriaga-Jordán, C.M. 2017. Effect of palmitic acid on the mitigation of milk fat depression

syndrome caused by trans-10, cis-12-conjugated linoleic acid in grazing dairy cows. *Arch. Anim. Nut.* 71: 428-440. <https://doi.org/10.1080/1745039x.2017.1379165>

Hahn, G.L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77(2):10-20. https://doi.org/10.2527/1997.77suppl_210x

Halakoo, G., Yansari, A.T., Mohajer, M., Chashnidel, Y. 2020. Effect of different fat sources on some blood metabolites, hormones, and enzyme activities of lambs with different residual feed intake in heat-stressed condition. *Iranian J. Appl. Anim. Sci.* 10(4):657-667.

Hötger, K.H., Hammon, M., Weber, C., Görs, S., Tröscher, A., Bruckmaier, R.M., Metges, C.C. 2013. Supplementation of conjugated linoleic acid in dairy cows reduces endogenous glucose production during early lactation. *J. Dairy Sci.* 96:2258–2270.

<http://dx.doi.org/10.1080/1745039X.2017.1379165>

Macías-Cruz, U., Correa-Calderón, A., Meza-Herrera, C., Mellado, M., Aréchiga, C.F., Avendaño-Reyes, L. 2018. Thermoregulatory response to outdoor heat stress of hair sheep females at different physiological stage. *Int. J. Biometeorol.* 62(12):2151-2160. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1615-2>

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. 2016. Effects of seasonal ambient heat stress (spring vs. summer) on physiological and metabolic variables in hair sheep located in an arid region. *Int. J. Biometeorol.* 60:1279–1286. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1123-6>

Macías-Cruz, U., Saavedra, 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 Sci.* 169:108202. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108202>

Macías-Cruz, U., Gastélum, M., Avendaño-Reyes, L., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Chay-Canul, A., Arechiga, C. 2018. Variaciones en las respuestas termoregulatorias de ovejas de pelo durante los meses de verano en un clima desértico. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 9(4): 738-753. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i4.4527>

- Mahjoubi, E., Amanlou, H., Alamouti, H.R.M., 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. *J. Anim. Sci.* 92, 1007–1014. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7153>
- 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 Rum. Res.* 71: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.003>
- Nicolás-López, P., Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., Valadez-García, K.M., Mellado, M., Meza-Herrera, C.A., Díaz-Molina, R., Castañeda, V.J., Vicente-Pérez, R., Luna-Palomera, C. 2023. Ferulic acid supplementation for 40 days in hair ewe lambs experiencing seasonal heat stress: short-term effects on physiological responses, growth, metabolism, and hematological profile. *Env. Sci. Pollut. Res.* 30 (5): 11562 – 11571. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22962-5>
- 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 J. Biometeorol.* 65(8):1451-1459. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02116-x>
- NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio., 2001. Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf
- National Research Council (NRC). (2007). Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids and new world camelids. National Academy Press.
- NRC (1971). A guide to environmental research on animals (Washington, DC: National Academy of Sciences).
- NRC. (1985) Nutrient Requirements of Sheep, Sixth Revised Edition, Subcommittee on Sheep Nutrition, Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture, Nation Research Council, National Academy Press, Washington, D.C.
- Piola Junior, W., de Castro, F.A.B., Bumbieris V.H., da Silva, L.D.D.F., Muniz, C.A.S.D., Ribeiro, E.D.A. 2020. Effects of dietary energy level on the performance and carcass characteristics of lambs. *Sem. Cienc. Agr.* 41: 2307–2316. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n5supl1p2307>

- Rahimi, J., Mutua, J. Y., Notenbaert, A. M. O., Marshall, K., Butterbach-Bahl, K. (2021). Heat stress will detrimentally impact future livestock production in East Africa. *Nature Food*, 2: 88–96. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00226-8>
- Saeed, O., and Khalaf, S. 2014. Replacement of liquorice pulp in diets of Holstein-Friesian cows under heat stress conditions: 1. effect on body temperature, feed intake, milk production and milk components. *Al-Anbar J. Vet. Sci.* 7: 33-42.
- SAS (2008) Instituto de Sistemas de Análisis Estadístico. Versión 9.1, SAS Institute Inc., Cary, Carolina del Norte, EE. UU.
- Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J., Malik, P., Naqvi, S., Lal, R. 2017. Adapting sheep production to climate change. In: *Sheep production adapting to climate change*. Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J., Malik, P.K., Naqvi, S.M.K. Lal, R. Springer, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4714-5>
- Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J., Dunshea, F., Lacetera, N. 2018. Adaptation of animals to heat stress. *Animal*. 12: s431-s444. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001945>
- SENASICA (2016). Ley Federal de Sanidad animal, SENASICA, México. Sitio web: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/ley-federal-de-sanidad-animal>
- Teixeira, A.B.M., Schuh, B.R.F., Daley, V.L., Pinto, P.H.N., Fernandes, S.R., de Freitas, J. A. 2021. Performance, biochemical and physiological parameters of Dorper × Santa Ines lambs fed with three levels of metabolizable energy. *Trop. Anim. Health Prod.* 53: 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02797-x>.
- Tüfekci, H. and Sejian, V. (2023). Stress Factors and Their Effects on Productivity in Sheep. *Animals*: 13(17): 2769. <https://doi.org/10.3390/ani13172769>
- Vicente-López, R., Macías-Cruz, U., Avendaño, L., Correa, A., López, M. y Lara, A. (2020). Impacto del estrés por calor en la producción de ovinos de pelo: Revisión. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 11(1): 205-222. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4923>
- Vicente-Pérez, R., Avendaño-Reyes, L., Mejía-Vázquez, Á., Álvarez-Valenzuela, F.D., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Meza-Herrera, C.A., Guerra-Liera, J.E., Robinson, P.H., and Macías-Cruz, U. 2016. Prediction of rectal temperature using non-invasive physiologic variable measurements in hair

pregnant ewes subjected to natural conditions of heat stress. *J. Therm. Biol.* 55: 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2015.11.004>

Zhang, M., Dunshea, F., Warner, R., DiGiacomo, K., Osei-Amponsah, R., Chauhan, S. 2020. Impacts of heat stress on meat quality and strategies for amelioration: a review. *Int. J. Biometeorol.* 64: 1613-1628. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01929-6>

CAPITULO 4. ANÁLISIS ECONÓMICO

Como parte de este estudio se realizó un análisis de costos parciales con el objetivo de conocer la viabilidad económica del uso de una dieta integral con la adición de grasa de sobrepaso para ovinos en finalización. Esto debido a que los sistemas de producción ovina en la región norte de México se han desarrollado a lo largo de los años en zonas rurales como una actividad de subsistencia y por tradición, gracias a esto se ha formado un sistema estructurado que permite el establecimiento de producción extensiva e intensiva como parte importante ante el comercio nacional. A partir del costo de cada ingrediente que se integra en la ración se calculó el costo por kilogramo, el cual fue de \$ 6.09 MXN (Cuadro 5), esto sin incluir el costo de la grasa de sobrepaso que se adiciono a los grupos 1 (100 g) y 2 (50 g).

Cuadro 5. Costo de la dieta integral ofrecida a ovinos en finalización.

Ingredientes	g kg ⁻¹ MS	Precio g	\$ MXN g kg ⁻¹ MS
Maíz rolado	171	0.0049	0.8379
Maíz molido	171	0.0045	0.7695
Salvado de trigo	90	0.00591	0.5319
Pasta de soya	90	0.00795	0.7155
Urea	10	0.0126	0.126
Melaza	48	0.00577	0.27696
Heno de triticales molido	80	0.00444	0.3552
Heno de alfalfa molida	320	0.007	2.24
Premezcla mineral - Bovi-8-ways	20	0.01208	0.2416
Lactomil	100	0.02685	2.685
	50	0.02685	1.3425
	0	0	0
Costo total por kilogramo (\$ MXN) Testigo			6.09456
Costo total por kilogramo (\$ MXN) + 100 g			8.77956
Costo total por kilogramo (\$ MXN) + 50 g			7.43706

Bovi-8-ways (Compuesto de 8 microminerales en levadura (minerales orgánicos): Se, Cr Cu, Zn, Co, Mn, I y Fe, levaduras del tipo *Saccharomyces cerevisiae* y enriquecido con vitamina E.; Grupo Biotecap, USA).

Para estos grupos el costo de la ración fue de \$ 8.77 MXN para el grupo 1 y \$ 7.43 MXN para el grupo 2. Para el análisis se consideró un precio de venta por kilogramo de carne en canal de \$76.70 MXN y un precio de venta en pie de \$37.44 MXN en el municipio de Mapimí, Durango (SIAP^c, 2023).

Como parte del experimento se realizó el cálculo de ganancia diaria de peso (GDP) para los grupos 100 g y 50 g de grasa protegida, además del grupo testigo a partir del periodo de inclusión de GP. Los corderos que recibieron 100 g de grasa protegida la GDP fue de 380 g, para el grupo que recibió 50 g la GDP fue de 450 g y para los corderos del grupo testigo fue de 340 g. Al realizar el contraste del costo por kilogramo de MS consumida, el costo de venta en pie y la GDP observamos que para el grupo de corderos con 100 g de GP el costo de la dieta fue de \$9.13 MXN considerando un CMS de 1.06 kg d⁻¹. Tomando en cuenta la GDP al realizar la venta en pie el productor estaría recibiendo un ingreso diario de \$14.22 MXN, por lo que al restar dicho concepto con el costo de la dieta la utilidad bruta es de \$5.09 MXN. En cambio, para los animales del grupo 50 g el CMS fue de 1.27 kg d⁻¹ teniendo un costo de dieta de \$9.07 MXN, por lo que el ingreso diario de acuerdo con la GDP registrada es de \$16.84 MXN con una utilidad bruta de \$7.77 MXN. Para el caso del grupo testigo el costo de dieta fue de \$7.12 MXN considerando un CMS de 1.17 kg d⁻¹ mostrando un ingreso diario de \$12.72 MXN y una utilidad bruta de \$5.60 MXN.

De acuerdo con el análisis realizado podemos inferir que por cada \$1 MXN invertido solo con dieta integral se obtiene \$0.78 MXN de ganancia diaria como es el caso para el grupo testigo, a diferencia de cuando se adiciona la GP. Esto se ve reflejado en los grupos de 100 g donde se obtienen \$0.55 MXN y el grupo de 50 g donde la ganancia es de \$0.85 MXN diarios.

Con estos resultados podemos concluir que adicionar 50 g de GP a una dieta integral en la finalización de engorda de corderos resulta rentable para el productor, ya que obtiene un 85% más de ganancia por cada \$1 MXN invertido. Pues se sabe que la suplementación ayuda a potencializar la productividad

(Oliveira et al., 2017) aun cuando los costos de producción aumentan, la rentabilidad al final del ciclo es favorable.

4.1 LITERATURA CITADA

Oliveira, R., Carvalho, G., Oliveira, R., Tosto, M., Santos, E., Ribeiro, R., Silva, T., Correia, B. y & Rufino, L. (2017). Palm kernel cake obtained from biodiesel production in diets for goats: feeding behavior and physiological parameters, *Trop Anim Health Prod*. DOI: 10.1007/s11250-017-1340-6.