



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS

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

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN LA CALIDAD DE CARNE DE CORDERO EN ETAPA DE ENGORDA EN UN AMBIENTE ÁRIDO.

T E S I S

Que como requisito parcial

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES

Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS

Presenta:

KARIM ANTONIO CARREÓN NEGRETE

Bajo la supervisión del Dr. Miguel Ángel Mata Espinosa

Bermejillo, Durango, México Mayo del 2025

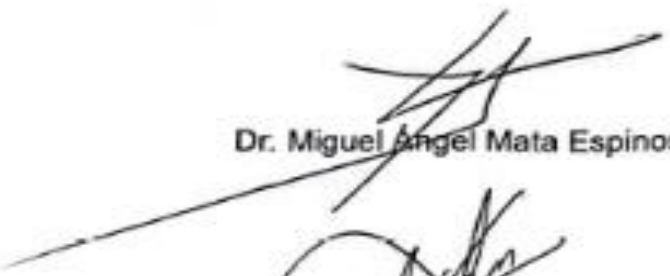


inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Tesis realizada por **KARIM ANTONIO CARREÓN NEGRETE** bajo la supervisión 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**

DIRECTOR


Dr. Miguel Ángel Mata Espinosa

CO- DIRECTOR


Dr. Jorge Alonso Maldonado Jaquez

ASESOR


Dr. Marco Andrés López Santiago

ASESOR


M.C. Sandra Patricia Maciel Torres

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO	3
ÍNDICE DE CUADROS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
AGRADECIMIENTOS.....	9
DEDICATORIA	10
DATOS BIOGRÁFICOS.....	11
Datos personales	11
Desarrollo académico	11
Desarrollo científico	11
RESUMEN GENERAL.....	12
GENERAL ABSTRACT.....	13
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	14
1.1 Zonas Áridas de México.....	15
1.2 Los ovinos en el mundo	15
1.3 Situación actual de los ovinos de carne en México y las zonas áridas	15
1.4 Sistema de producción de ovino	16

1.5 La carne de ovino en la alimentación	17
1.6 JUSTIFICACIÓN	18
1.7 OBJETIVO	19
1.8 HIPÓTESIS GENERAL	19
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	20
2.1. Alimentación de ovinos	20
2.2 Consumo y requerimiento de proteína y energía	20
2.3 Importancia de las grasas como fuente energética	21
2.4 Metabolismo y digestibilidad de los lípidos en los rumiantes	21
2.5 Clasificación de los ácidos grasos	24
2.6 Fuentes de lípidos	26
2.7 Efectos negativos del uso de lípidos en el rumen	27
2.8 Carne y <i>rigor mortis</i>	28
2.9 La carne de ovino y sus características organolépticas	30
2.10 Factores que influyen en la calidad de la canal y la carne	31
2.11 Características fisicoquímicas que definen la calidad de la carne	35
2.12 LITERATURA CITADA.....	38
CAPITULO 3. LA SUPLEMENTACIÓN DIETÉTICA DE ÁCIDOS GRASOS	

PROTEGIDOS MEJORA EL RENDIMIENTO DEL CRECIMIENTO, LOS RASGOS DE LA CANAL Y LA CALIDAD DE LA CARNE EN CORDEROS SOMETIDOS A ESTRÉS TÉRMICO	49
3.1 RESUMEN	49
3.2 INTRODUCCIÓN	51
3.3 MATERIALES Y MÉTODOS	53
3.3.1 Declaración ética de cuidado y bienestar animal	53
3.3.2 Ubicación	53
3.3.3 Tratamiento y corderos	54
3.3.4 Desarrollo del experimento	55
3.3.5 Variables	55
3.3.6 Sacrificio de animales y evaluación de la calidad de la carne	56
3.3.7 Análisis estadístico	58
3.4 RESULTADOS	58
3.4.1 Índice de temperatura y humedad	58
3.4.2 Respuesta en el comportamiento productivo	59
3.4.3 Respuesta en componentes de la canal y no canal	61
3.5 DISCUSIÓN	64
3.6 CONCLUSIÓN	67

3.7 REFERENCIAS.....	68
CAPITULO 4. SENSORIAL ANALYSIS OF LAMB MEAT ENRICHED WITH FATTY ACID BLEND IN THE DIET	
4.1 ABSTRACT	73
4.2 INTRODUCTION.....	74
4.3 MATERIALS AND METHODS	75
4.3.1 Field Experiment	75
4.3.2 Treatments and experimental design	76
4.3.3 Meat sampling for sensory analysis	76
4.3.4 Sensory Analysis.....	77
4.3.5 Statistical Analysis.....	78
4.4 RESULTS AND DISCUSSION	79
4.4.1 Sensory analysis without information on fatty acid-enriched lamb meat	79
4.4.2 Acceptance of the fatty acid-enriched lamb meat.....	81
4.5 CONCLUSIONS	85
4.6 REFERENCES.....	86

ÍNDICE DE CUADROS

Capítulo 2:

Cuadro 1: Requerimientos de proteína y energía en corderos en crecimiento de 20 a 50 kilogramos de peso vivo.....	20
Cuadro 2: Principales ácidos grasos y sus características	25
Cuadro 3: Medios de SFA (ácidos grasos saturados), MUFA (ácidos grasos monoinsaturados) PUFA (ácidos grasos poliinsaturados), relación PUFA/MUFA y n-6/n-3, contenido en CLA de grasa y Colesterol de fracción comestible en carnes de diferentes especies.	26
Cuadro 4: Principales fuentes de ácidos grasos saturados y poliinsaturados ..	27

Capítulo 3:

Cuadro. 1: Ingredientes y composición química de la ración integral utilizada en la finalización de corderos Dorper.....	54
Cuadro. 2: Condiciones climáticas durante el periodo experimental.....	59
Cuadro. 3: Patrón diurno de la temperatura media ambiente y del índice de temperatura-humedad (ITH) durante el periodo experimental.	60
Cuadro. 4: Efecto de la inclusión de dos niveles de grasa protegida en las características de la canal de corderos Dorper en finalización en un ambiente cálido.	61
Cuadro. 5: Efecto de la inclusión de dos niveles de grasa protegida en las características de los componentes no pertenecientes a la canal de corderos Dorper en finalización en un ambiente cálido.	62
Cuadro. 6: Efecto de la inclusión de dos niveles de grasa protegida en las características fisicoquímicas de la carne de corderos Dorper en finalización en un ambiente cálido.....	62
Cuadro. 7: Efecto de la inclusión de dos niveles de grasa protegida en la calidad nutricional y la capacidad antioxidante de la carne de corderos Dorper en finalización en un ambiente cálido.	64

Capítulo 4:

Table 1: Panelists' acceptance toward fatty acid-enriched meat treatments.....	81
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 3:

Figura 1: Patrón diario de la temperatura media ambiente y del índice de temperatura-humedad (ITH) durante el periodo experimental.	59
Figura 2: Comportamiento del consumo de materia seca y peso vivo durante el periodo de adición de grasa protegida en la dieta de corderos Dorper en finalización en un ambiente caluroso.	60
Figura 3: Descenso de la temperatura y pH de carne de corderos en finalización con inclusión de dos niveles de grasa de sobrepeso dietario en un ambiente caluroso.	63

Capítulo 4:

Figure 1: Average hedonic scores for fatty acid-enriched meat attributes. † 1 = do not like at all, 2 = do not like, 3 = neither like nor dislike, 4 = like, 5 = like very much. a,b,c Statistical differences between attributes at 95 % (Tukey).	80
Figure 2: Map of internal preferences based on the treatments of lamb meat enriched with fatty acids.	82
Figure 3 : Bidimensional average positioning of attributes and treatments rated by the panelists.	83
Figure 4: Response surface of the effect of grade acid concentration on the acceptability of lamb meat.	84
Figure 5: Effect of sensory attributes on fatty acid acceptability, measured with JAR (Just-About-Right) scale for each fatty acid level, reducing the scale from 5 to 3 points.	85

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi más sincero agradecimiento por brindarme los medios y las herramientas que han sido fundamentales para mi crecimiento personal y profesional.

A mis maestros, secretarías, coordinador y comité asesor, gracias por su respaldo constante, por dedicar generosamente su tiempo y por compartir conmigo parte de su valiosa formación. Aprecio profundamente su paciencia, su guía y el compromiso con el que me acompañaron en este proceso. Los admiro y respeto como los excelentes tutores que son.

A ti, orejitas ♥, el corazón que da sentido a mi vida, gracias por permanecer a mi lado incluso en los momentos más difíciles. A pesar de los obstáculos que enfrentamos durante esta etapa, tu apoyo incondicional me sostuvo. Juntos convertimos cada desafío en una experiencia inolvidable. ¡Te amo!

A mis amigos y compañeros de equipo, cuyo esfuerzo y dedicación hicieron posible este proyecto: Aldair, Sinaí, Eduardo, Boker, Machado, Wong, Frida, Oliver y Ángel. Gracias por regalarme su tiempo, su apoyo y su entusiasmo. ¡Este logro también es de ustedes!

DEDICATORIA

A mis padres, Irma Negrete Gutiérrez y Juan Antonio Carreón Hernández, por ser el pilar de mi vida. Gracias por su amor incondicional, sus sabios consejos, sus enseñanzas y su constante apoyo, incluso en medio de la distancia y las diversas circunstancias. Cada paso que doy lleva consigo el reflejo de su ejemplo.

A mis tutores, la Miss Sandy y el Dr. Danilo, por acompañarnos más allá de lo académico. A pesar de los desafíos, nos brindaron no solo su guía profesional, sino también su calidez humana. Gracias por permitirnos compartir más que conocimientos, por abrirnos las puertas de su vida y convertir este vínculo en una amistad que espero perdure con el tiempo.

Al Dr. Jorge Maldonado, mi sincero agradecimiento por encontrar tiempo entre sus 1000 y 1 cosas que hacer en su apretada agenda para acompañarnos en este proceso. Su apoyo, su ejemplo y su compromiso nos enseñaron que siempre podemos y debemos aspirar a más.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Karim Antonio Carreón Negrete

Fecha de nacimiento 04 de enero de 1998

Lugar de nacimiento: San Luis Potosí, SLP.

CURP: CANK980104HSPRGR06

Profesión: Ingeniero en Sistemas

Agroalimentarios

Cédula profesional: 13787274



Desarrollo académico

Preparatoria: Preparatoria Agrícola Chapingo-URUZA - Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México (2013-2016)

Licenciatura: Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas- Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Mapimí, Durango (2016-2020)

Desarrollo científico

Participación como ponente en el VII Congreso Internacional y XIX Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas con el tema “Efecto de la adición de ácidos grasos en dieta sobre la producción y rendimiento en canal de corderos para carne en un ambiente árido.

RESUMEN GENERAL

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN LA CALIDAD DE CARNE DE CORDERO EN ETAPA DE ENGORDA EN UN AMBIENTE ÁRIDO.

La suplementación a corderos con ácidos grasos (AG) es una estrategia eficaz para mejorar el crecimiento y el peso de la canal en la producción ovina. Este estudio evaluó la inclusión de AG en los parámetros productivos, características de la canal, rasgos fisicoquímicos y atributos sensoriales en corderos. Para ello, se seleccionaron 21 corderos Dorper de 45 días de edad con peso inicial de 14 kg en promedio. Los cuales, fueron asignados aleatoriamente a tres grupos experimentales ($n = 7$): Testigo (sin AG), Tratamiento 1 (50 g/día de AG) y Tratamiento 2 (100 g/día de AG). El periodo experimental tuvo una duración de 15 semanas con dos de adaptación. A partir de la semana 9, los Tratamientos 1 y 2 recibieron el suplemento de AG (82 % de ácido palmítico). Las variables evaluadas fueron consumo de alimento y agua, peso vivo, ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia y eficiencia alimenticia, peso de la canal, pH de la canal, capacidad de retención de agua, pérdida por goteo, capacidad antioxidante, color y composición química. Además se realizó una evaluación sensorial. Los resultados mostraron que la suplementación con 50 g/día de AG aumentó significativamente la GDP y el rendimiento en canal en comparación con el Control ($p < 0,05$), con mejora simultánea en el contenido de grasa intramuscular, la capacidad de retención de agua y el estado antioxidante. Las muestras tratadas mostraron valores más altos de L^* y a^* , menor pérdida por goteo y mejores puntuaciones sensoriales, especialmente en terneza y sabor. El grupo de 100 g/día no produjo más beneficios, lo que sugiere un efecto de meseta. En las condiciones probadas, la inclusión de 50 g/día de la mezcla de ácidos grasos produjo ganancias óptimas en el crecimiento y la calidad de la carne.

Palabras clave: Ambiente árido; suplementación; ácidos grasos; calidad de carne; análisis sensorial.

GENERAL ABSTRACT

EFFECT OF ADDING FATTY ACIDS ON THE QUALITY OF LAMB MEAT DURING THE FEEDING STAGE IN AN ARID ENVIRONMENT.

Supplementing lambs with fatty acids (FAs) is an effective strategy for improving growth and carcass weight in sheep production. This study examined the impact of FA supplementation on production parameters, carcass characteristics, physicochemical properties and sensory attributes in lambs. To this end, 21 45-day-old Dorper lambs with an average initial weight of 14 kg were selected. The lambs were randomly assigned to three experimental groups (n = 7): Control (no FA); Treatment 1 (50 g/day of FA); and Treatment 2 (100 g/day of FA). The experimental period lasted 15 weeks, including a two-week adaptation period. From week 9 onwards, groups 1 and 2 received the FA supplement (82% palmitic acid). The following variables were evaluated: feed and water consumption; live weight; daily weight gain (DWG); feed conversion ratio; feed efficiency; carcass weight; carcass pH; water retention capacity; drip loss; antioxidant capacity; colour; and chemical composition. A sensory evaluation was also performed. The results showed that 50 g/day of FA supplementation significantly increased DWG and carcass yield compared to the control group ($p < 0.05$), while improving intramuscular fat content, water retention capacity and antioxidant status simultaneously. The treated samples exhibited higher L^* and a^* values, lower drip loss, and superior sensory scores, particularly with regard to tenderness and flavour. However, the 100 g/day group did not produce any additional benefits, suggesting a plateau effect. Under the tested conditions, inclusion of the fatty acid mixture at a rate of 50 g/day produced optimal growth and meat quality gains.

Keywords: Arid environment; fatty acid supplementation; meat quality; sensory analysis.

Thesis: Master of Science in Natural Resources and Environment in Arid Zones.

Regional University Unit of Arid Zones, Universidad of Autónoma Chapingo

Author: Karim Antonio Carreón Negrete

Thesis Supervisor: Dr. Miguel Ángel Mata Espinosa

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las zonas áridas se caracterizan por presentar condiciones extremas que dificultan el desarrollo y asentamiento de los seres vivos. La aridez está relacionada con la poca disponibilidad de agua (Cornejo, 2009). Estas regiones cubren el 40% de la superficie continental (5.2 billones de hectáreas), donde habitan el 57.5% aproximadamente de la población mundial (Martinelli & Martínez, 2014). La posibilidad de que sean ocupadas por la población dependerá de la disponibilidad de agua para uso personal, del consumo del ganado y del aprovechamiento del agua para la producción de alimentos y otros recursos (Villagra et al., 2013).

Las zonas áridas se caracterizan por presentar temperaturas altas, pérdida de agua por evaporación superior a la precipitación y la baja disponibilidad de nutrientes en el suelo (Whitford, 2020; Montaña et al., 2016). A pesar de esto, el ecosistema exhibe una gran diversidad biológica e interacción, así como el movimiento de materiales y energía entre las especies y el entorno abiótico (Briones et al., 2018).

En las zonas áridas y semiáridas se desarrolla el 70 % de la producción de los alimentos agrícolas en el mundo. Los factores abióticos adversos son determinantes en el desarrollo de estrategias para optimizar el crecimiento y la producción en zonas áridas, beneficiando a diversos productores (Burboa et al., 2017).

Las zonas áridas presentan condiciones extremas que afectan el desarrollo y la reproducción de las especies. Estas condiciones han provocado la expresión de adaptaciones morfofisiológicas específicas y únicas, permitiendo la supervivencia de los organismos en ambientes extremos (Flores, 2016). Como consecuencia, se acelera la desertificación y se reduce la sustentabilidad de los cultivos.

1.1 Zonas Áridas de México

Las zonas semiáridas reciben entre 350 y 600 mm de precipitación anual, mientras que las zonas áridas registran menos de 350 mm (Tarango, 2005). Estas regiones abarcan más de la mitad del territorio nacional y, según Rzedowski (1978), se localizan en las regiones centro y norte del país. En estas áreas existe una gran diversidad vegetal, caracterizada por un alto porcentaje de plantas leñosas de porte bajo, así como gramíneas y plantas suculentas que conforman pastizales y matorrales xerófilos.

1.2 Los ovinos en el mundo

En 2023, la producción mundial de carne de ovino alcanzó los 17 millones de toneladas, lo que representó un incremento interanual del 1 %. Este crecimiento fue impulsado principalmente por el aumento de la producción en Australia, China, Turquía y el Reino Unido, que compensó la reducción registrada en Etiopía y la Unión Europea (FAO, 2023).

1.3 Situación actual de los ovinos de carne en México y las zonas áridas

La producción de carne ovina se encuentra entre las cinco principales especies de interés zootécnico en México, representando una actividad económica primaria de gran importancia. En los últimos años, esta industria ha registrado un crecimiento promedio del 2.09 % anual. Para finales de 2022, se estimaba una población de 8,805,206 cabezas y una producción de 67,248 toneladas, equivalentes a \$5,680,207 miles de pesos (SIAP a, b, c, 2023).

Se calcula que aproximadamente el 34 % de los productores dependen exclusivamente de la producción ovina como fuente de ingresos. Además, el 85 % del consumo de carne ovina en el país se concentra en las regiones templadas del centro de México (Díaz et al., 2018). Por otro lado, se estima que el 56 % de las ovejas se encuentran en zonas áridas y semiáridas (Pulina et al., 2018).

A nivel global, la producción ovina desempeña un papel socioeconómico crucial,

especialmente en países en desarrollo (Marino et al., 2016). No obstante, en 2022 el consumo nacional alcanzó las 68,864 toneladas, lo que generó un déficit cercano al 2.3 %. Esta brecha en la producción ha requerido la importación de carne ovina de países como Australia y Nueva Zelanda para satisfacer la demanda nacional (CMC, 2023).

Dadas las condiciones actuales de la producción y su importancia en la alimentación, resulta fundamental desarrollar y adoptar nuevas estrategias que optimicen la eficiencia productiva, particularmente en sistemas intensivos (Mugabe et al., 2023).

1.4 Sistema de producción de ovino

Intensivo: En el sistema de producción intensiva, los animales permanecen estabulados y reciben una alimentación balanceada con el objetivo de optimizar la producción de carne o leche (Haenlein, 2001). Además, este sistema permite una supervisión veterinaria constante, el uso de áreas especializadas para la producción (corrales) y la incorporación eficiente de minerales, henos, vitaminas, ensilados y pastos en la dieta, en contraste con el sistema extensivo (Niderkorn et al., 2015).

La implementación de sistemas intensivos exige mejoras en la suplementación con granos y en la producción de forrajes, a fin de evitar desequilibrios nutricionales que puedan afectar la calidad del producto final (Montossi et al., 2013).

Extensivo: En el sistema extensivo, el ganado pastorea libremente y se alimenta de manera natural, con poca o nula supervisión. Este método reduce significativamente los costos asociados a instalaciones y alimentación. Su principal ventaja radica en el aprovechamiento de la vegetación existente, como arbustos, pastos y follaje de árboles, lo que lo hace especialmente viable en regiones áridas y semiáridas, donde la producción agrícola es limitada (Rúa et al., 2017). Además, este sistema contribuye a la conservación del suelo y la

biodiversidad al promover el reciclaje de nutrientes y la regeneración de ecosistemas naturales (Teague et al., 2016).

Semi-extensivo: Los sistemas semi-extensivos se caracterizan por la alimentación del ganado a base de pastos, ya sean plantados o naturales, generalmente durante el mediodía y la tarde. Posteriormente, los animales son reubicados en instalaciones donde su dieta se complementa con forrajes y concentrados (Peacock & Sherman, 2010). Este modelo de producción permite un mejor cumplimiento de los requerimientos nutricionales del ganado, lo que favorece la productividad y la sostenibilidad del sistema.

1.5 La carne de ovino en la alimentación

La carne de ovino tiene un alto valor nutricional, con un contenido aproximado del 17% de proteína. Su sabor y aroma distintivos se deben a sus características organolépticas y a la composición de ácidos grasos presentes en la grasa intramuscular y subcutánea. Además, su brillo, apariencia, color y elasticidad varían según factores como la condición del animal, el estrés, la edad, el método de cocción y la conservación. La carne de cordero es una fuente importante de ácidos grasos y aminoácidos esenciales en la dieta humana (De Lucas & Arbiza, 2000). Asimismo, la calidad sensorial y nutricional de la carne de ovino está influenciada por la alimentación del ganado, lo que impacta directamente en la proporción de ácidos grasos saturados e insaturados, determinando su perfil lipídico y sus beneficios para la salud (Juárez et al., 2009).

El contenido de colesterol y la composición de ácidos grasos han despertado un creciente interés entre los consumidores, debido a su impacto en la calidad del producto y su relación con la salud (Linares et al., 2013). Estudios recientes sugieren que la proporción de ácidos grasos insaturados en la carne ovina puede influir en su percepción sensorial y en sus beneficios nutricionales (Wood et al., 2008).

1.6 JUSTIFICACIÓN

La economía local de los ambientes áridos se beneficia enormemente de los sistemas de producción de pequeños rumiantes. La mayoría de los sistemas en las regiones áridas y semiáridas de México son extensivos y de subsistencia donde la alimentación del ganado depende principalmente de la vegetación natural y se lleva a cabo a través del pastoreo (principios de la primavera e invierno) (Martinelli & Martínez, 2014).

Debido a la escasez de alimentos durante periodos largos la producción del ganado se ve afectada por los fuertes cambios climáticos estacionales. Estos se manifiestan como períodos cortos de lluvias y sequías fuertes que duran entre cuatro y cinco meses. Lo cual reduce el rendimiento de los animales y reduce la calidad del resultado final (Suárez et al., 2022) además de afectar directamente la economía de los pequeños productores.

Hay pocos datos sobre cómo la presencia de lípidos adicionales en la dieta de los ovinos puede afectar el contenido de AG de la carne debido a que la suplementación con lípidos puede influir en muchos de los pasos que determinan la calidad de la carne (Musco, 2022). También se tiene discrepancia entre los estudios lo cual podría explicarse por la posibilidad de que una cantidad excesiva de grasa en la dieta podría dañar la fermentación ruminal y cambiar la palatabilidad de los alimentos (Hamzaoui, 2021).

Por lo tanto, es necesario el estudio de nuevas alternativas en las dietas y suplementación que permitan mejorar las características de la alimentación suplementada la cual permita el crecimiento, desarrollo y la producción obteniendo productos finales de alta calidad.

Debido a estas causas y al crecimiento que se ha registrado durante los últimos años, en la producción de ovinos es necesario realizar más investigación sobre la adición y los efectos de las grasas en la dieta de los ovinos.

1.7 OBJETIVO

Evaluar las características de la canal y el perfil de ácidos grasos de carne de ovinos con dietas que contienen diferentes porcentajes de ácidos grasos.

1.8 HIPÓTESIS GENERAL

Ha: La adición de ácidos grasos en la dieta de corderos en engorda mejora el comportamiento productivo y la calidad de la carne.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Alimentación de ovinos

La alimentación es un factor clave para maximizar el potencial del ganado en las diferentes etapas de crecimiento. Un adecuado manejo de los recursos disponibles permite optimizar el peso vivo y aprovechar el potencial genético de los animales, lo que hace imprescindible el suministro de nutrientes que cubran sus requerimientos y favorezcan su desempeño productivo (Núñez et al., 2020). Para lograr un crecimiento óptimo, es fundamental equilibrar la dieta con niveles adecuados de proteína, carbohidratos, minerales y vitaminas (Kumar & Sridhar, 2021). Además, la digestibilidad y la biodisponibilidad de los nutrientes juegan un papel crucial en la eficiencia de conversión alimenticia y en la calidad del producto final (McDonald et al., 2011)

2.2 Consumo y requerimiento de proteína y energía

Los corderos en crecimiento deben consumir entre el 1.9% y el 4% de su peso vivo para alcanzar una ganancia diaria adecuada. Por ejemplo, un cordero de 20 kg con una ganancia diaria de 300 g requiere un consumo de 0.61 kg de alimento seco (Cuadro1), equivalente al 3% de su peso vivo (Muñiz & Ibarra, 2018).

Cuadro 1: Requerimientos de proteína y energía en corderos en crecimiento de 20 a 50 kilogramos de peso vivo.

Peso vivo kg	Consumo KgMS/día	Proteína g/día	Energía (Mcal/kgMS)		
			Metabolizable	Neta mantenimiento	Neta ganancia
20	0.61	155	1.74	0.21	0.63
30	0.88	169	2.10	0.29	0.63
40	1.54	199	2.94	0.38	0.63
50	1.59	205	3.05	0.45	0.63

Fuente: Muñiz J. & Ibarra C. (2018).

2.3 Importancia de las grasas como fuente energética

Las grasas y los aceites son fuentes alimenticias de alta densidad energética para rumiantes y se encuentran fácilmente disponibles en el mercado. Las grasas de grado alimenticio contienen aproximadamente un 90% de ácidos grasos totales, los cuales representan casi el 100% de su contenido energético (Jorquera et al., 2017). Además, su inclusión en la dieta ha demostrado mejorar parámetros productivos y características de la carne, favoreciendo la ganancia de peso y el rendimiento de la canal (Duarte et al., 2016).

2.4 Metabolismo y digestibilidad de los lípidos en los rumiantes

Los rumiantes presentan dos vías de adaptación del rumen. En la primera, los microorganismos desarrollan una alta especialización, compiten por los nutrientes y ocupan un nicho limitado. En la segunda, se adaptan de manera más amplia, lo que les permite aprovechar una mayor variedad de nutrientes. Además, la selección dentro de la diversidad de la población ruminal influye en el desempeño bioquímico, optimizando la eficiencia digestiva (Fernando et al., 2010; Patel et al., 2014).

Durante la fermentación ruminal, los carbohidratos, como principales fuentes de energía, se transforman en compuestos útiles para las células microbianas y en productos de desecho, como dióxido de carbono, metano y ácidos grasos volátiles (AGV), principalmente acético, propiónico y butírico (Krehbiel, 2014). Este proceso es llevado a cabo por bacterias del rumen, adaptadas a un pH de 5.5 a 7.0, en un ambiente anaerobio, con una temperatura de 39-40°C y una osmolaridad de 260 a 340 mOsm (Rey et al., 2014).

Para la digestibilidad y metabolismo de los lípidos ocurren 4 pasos vitales los cuales son los siguientes:

Lipólisis: Los microorganismos lipolíticos poseen la capacidad de hidrolizar los lípidos en el rumen. Entre ellos, *Anaerovibrio lipolytica* lleva a cabo la lipólisis de triglicéridos y utiliza ribosa, fructosa, glicerol y lactato como fuentes de carbono y energía (Maia et al., 2007; Buccioni et al., 2012). Durante este proceso, A.

lipolytica emplea enzimas específicas para descomponer los triglicéridos, liberando ácidos grasos y obteniendo glicerol.

Biohidrogenación (BH): En términos generales, la biohidrogenación (BH) es un proceso ruminal mediante el cual los ácidos grasos insaturados (AGI) de la dieta se transforman en ácidos grasos más saturados para reducir su efecto inhibidor sobre el crecimiento bacteriano. Además, la BH actúa como un mecanismo de desintoxicación microbiana, permitiendo a los microorganismos ruminales evadir el efecto antimicrobiano de los AGI. A mayor grado de insaturación de los ácidos grasos, mayor es su toxicidad; por ello, la BH favorece su saturación y reduce su impacto negativo. Este proceso da origen a ácidos grasos trans y a precursores enzimáticos con potencial efecto beneficioso sobre la salud. Asimismo, el ácido esteárico (C18:0) se identifica como el producto final de la BH de los ácidos grasos C18 (Toral et al., 2024).

Absorción y transporte: Como resultado de los procesos mencionados previamente, los ácidos grasos que llegan al intestino delgado son, en su mayoría, ácidos grasos saturados de cadena larga (AGCL), los cuales se absorben principalmente en esta sección del tracto digestivo. En cerdos, la digestibilidad de los AGCL varía entre el 80 % y el 90 %, mientras que en rumiantes oscila entre el 67 % y el 75 %. Su absorción involucra proteínas específicas y una serie de etapas dentro del enterocito, que incluyen la captación de ácidos grasos, su activación, tráfico intracelular, reesterificación y síntesis de lipoproteínas (Hentz & Batistel, 2024).

Los enterocitos en su proceso de la digestión de los lípidos de la dieta procesan y producen nuevamente los triglicéridos, colesterol y otros lípidos bien por reesterificación de los absorbidos o bien por síntesis de novo a partir de los ácidos grasos absorbidos y el alfa-glicerofosfato. Además, en el mismo retículo endoplásmico, donde se realiza todo este proceso de síntesis y resíntesis de lípidos, también se sintetizan apoproteínas que van conformando el receptáculo donde se engloban dichos lípidos para luego ser excretados a la circulación

linfática en forma de lipoproteínas denominadas quilomicrones nacientes (QMn) (Serra, 2024).

Si bien todas las células del organismo pueden sintetizar lípidos, el metabolismo anabólico de estos ocurre preferentemente en el hígado, el tejido adiposo y las glándulas mamarias en lactancia, siendo el hígado el principal órgano productor. La síntesis lipídica puede originarse de novo o a partir de los ácidos grasos circulantes en el plasma (Serra, 2024).

Las lipoproteínas cumplen una función esencial en el transporte de lípidos desde el hígado hacia los diferentes tejidos del organismo, donde pueden ser almacenados o utilizados como fuente de energía (Hentz & Batistel, 2024).

Almacenamiento: El tejido graso está compuesto por adipocitos especializados en el almacenamiento de lípidos, desempeñando un papel fundamental en diversos procesos biológicos asociados a la nutrición de los tejidos. Su función principal es actuar como una reserva energética para el organismo (Ham, 1975; Lehninger, 1978; Díaz, 2001).

En animales adultos destinados a la producción de carne, los principales depósitos de grasa incluyen el subcutáneo, el intermuscular, el intramuscular, el cavitario (que abarca las regiones pélvica y renal) y el visceral (que comprende los depósitos pericárdicos, omental o epiplónico y mesentérico). A continuación, se describen estos depósitos:

-**Subcutánea:** ubicada directamente bajo la piel, extendida sobre la musculatura del cuerpo.

-**Intermuscular:** tendido entre los músculos individuales y estando en mayor cantidad a lo largo de las rutas tomadas por los grandes vasos sanguíneos y los nervios.

-**Intramuscular** (interfascicular o de marmoleo), localizado entre las fibras musculares.

- **Cavitario:** Perirrenal (perinefrítico o renal), alrededor del riñón y formando un depósito sobre la capa interna del lomo Pélvico, a esta grasa también se la denomina “del canal”, y está distribuido en la cavidad pélvica.

- **Visceral:** Omental, algunas veces referido como “caul”, por su apariencia como una malla, y que está extendida sobre los estómagos. Mesentérico, acumulable alrededor del mesenterio de los intestinos. Pericárdico, tendido alrededor del corazón (Romero, 2014).

2.5 Clasificación de los ácidos grasos

Los lípidos, comúnmente conocidos como grasas, están compuestos por ácidos grasos, los cuales presentan una estructura de cadena hidrocarbonada lineal con un grupo carboxilo en su extremo terminal. La longitud de la cadena varía entre 4 y 22 átomos de carbono, mientras que su grado de insaturación depende del número de dobles enlaces presentes. En la dieta y el organismo, la mayoría de los ácidos grasos contienen entre 16 y 18 átomos de carbono. Según su grado de insaturación, se clasifican en tres tipos: ácidos grasos saturados, que no presentan dobles enlaces; ácidos grasos monoinsaturados, con un único doble enlace; y ácidos grasos poliinsaturados, que contienen dos o más dobles enlaces (Horcada & Polvillo, 2010).

Los ácidos grasos saturados se caracterizan por su estado sólido a temperatura ambiente, mientras que los insaturados suelen encontrarse en estado líquido debido a su menor punto de fusión. La presencia de dobles enlaces en la cadena hidrocarbonada da lugar a dos configuraciones espaciales diferentes: cis, cuando los átomos de hidrógeno se encuentran en el mismo lado del doble enlace, siendo esta la configuración predominante en la naturaleza; y trans, cuando los átomos de hidrógeno se ubican en lados opuestos del doble enlace (Enríquez et al., 2003).

Los ácidos grasos poliinsaturados se clasifican en cuatro familias según la posición del primer doble enlace en la cadena, contando desde el extremo metilo: n-3 (ω -3), n-6 (ω -6), n-7 (ω -7) y n-9 (ω -9) (Berg et al., 2003). Los ácidos grasos de la familia n-7 derivan del ácido palmítico, mientras que los de la familia n-9 se sintetizan a partir del ácido esteárico. Estas dos familias no se consideran

esenciales, ya que pueden ser sintetizadas por el organismo. En contraste, los ácidos grasos n-3 y n-6 se consideran esenciales debido a que el organismo no puede producirlos en cantidades suficientes, por lo que su ingesta es imprescindible. Entre sus funciones fisiológicas destacan el mantenimiento de la fluidez y elasticidad de las membranas celulares, la regulación de la expansión y contracción celular, así como su participación en procesos esenciales como el desarrollo cerebral, el crecimiento, la visión y la reproducción (Cuadro 2) (Enríquez et al., 2003; Lodish et al., 2005).

Cuadro 2: Principales ácidos grasos y sus características.

Ácido Graso	Número de Carbonos	Número de Dobles Enlaces	Abreviación	Punto de Fusión (°C)
ÁCIDOS GRASOS SATURADOS				
Butírico	4	0	C4:0	-8
Caproico	6	0	C6:0	-3
Caprílico	8	0	C8:0	17
Cáprico	10	0	C10:0	31
Láurico	12	0	C12:0	44
Mirístico	14	0	C14:0	60
Palmítico	16	0	C16:0	63
Estearico	18	0	C18:0	70
ÁCIDOS GRASOS INSATURADOS				
Oleico	18	1	C18:1 ω 9	13
Linoleico	18	2	C18:2 ω 6	-5
α - linolénico	18	3	C18:3 ω 3	-11
γ - linoleico	18	3	C18: 3 ω 6	-11
Araquidónico	20	4	C20:4 ω 6	-50
Eicosapentanoico (EPA)	20	5	C20:5 ω 3	-50
Docosahexanoico (DHA)	22	6	C22:6 ω 3	-50

Fuente: Horcada & Polvillo, 2010.

Actualmente, los parámetros de calidad de la grasa se determinan a partir de la composición total de ácidos grasos saturados (SFA), monoinsaturados (MUFA) y poliinsaturados (PUFA), así como por las relaciones PUFA/SFA y omega-6/omega-3, el contenido de ácido linoleico conjugado (CLA: C18:2 C9,t11) y la concentración de colesterol (Cuadro 3). Un mayor contenido de PUFA, una

relación omega-6/omega-3 inferior a 4 y un incremento en CLA favorecen la obtención de carne con propiedades más saludables, especialmente por sus efectos positivos en la salud cardiovascular, la prevención del cáncer, el control del peso y la función inmunológica. Por el contrario, carnes con un bajo contenido de ácidos grasos poliinsaturados, un alto contenido de colesterol y una elevada concentración de ácidos grasos saturados se asocian con un menor valor nutricional y potenciales efectos adversos para la salud.

Cuadro 3: Medios de SFA (ácidos grasos saturados), MUFA (ácidos grasos monoinsaturados) PUFA (ácidos grasos poliinsaturados), relación PUFA/MUFA y n-6/n-3, contenido en CLA de grasa y Colesterol de fracción comestible en carnes de diferentes especies.

	Vacuno a	Cordero a	Cerd o	Ternera b	Pollo c	Conejo b
SFA (%)	41,14	43,91	36,85	38,90	49,41	38,26
MUFA (%)	45,72	40,8	39,5	34,4	39,25	32,8
PUFA (0%)	4,9	5,9	19,9	15,1	10,74	23,9
PUFA/MUFA	8,33	3,33	1,85	2,5	4,54	1,61
n.6/n.3	2,2	1,4	7,3	34,9	10,80	6,7
CLA(mg/g de grasa)	3,6	4,9	0,6	3,8	0,9	
Colesterol (mg/ 100g)	70,0	79,5 b	65,0	66,0	53,0 c	45,0 d
a						

Fuente: Horcada & Polvillo, 2010.

2.6 Fuentes de lípidos

Los forrajes y los granos de cereales representan la principal fuente de ácidos grasos en la dieta de los rumiantes. No obstante, el contenido lipídico de la alimentación puede incrementarse mediante la inclusión de suplementos grasos, los cuales se clasifican según su origen en animales, vegetales o mixtos (Cuadro 4). Dentro de las grasas de origen animal, se distinguen las poliinsaturadas (provenientes de fuentes marinas), insaturadas (grasas de aves), moderadamente insaturadas (manteca de cerdo), saturadas (sebo bovino) y mezclas de estos tipos (Mateos et al., 1996).

Cuadro 4: Principales fuentes de ácidos grasos saturados y poliinsaturados.

Estructura	Nombre común	Fuente
Ácidos grasos saturados		
C 4:0	Butírico	Leche de rumiantes
C 6:0	Caproico	Leche de rumiantes
C 8:0	Caprílico	Leche de rumiantes, aceite de coco
C 10:0	Cáprico	Leche de rumiantes, aceite de coco
C 12:0	Láurico	Aceite de coco, aceite de nuez, de palma
C 14:0	Mirístico	Coco, nuez de palma, otros aceites vegetales
C 16:0	Palmítico	Abundante en todas las grasas
C 18:0	Esteárico	Grasas animales, cacao
Ácidos grasos poliinsaturados		
C 18:2 n-6	Linoleico	Aceites vegetales (girasol, maíz, soya, algodón, cacahuete)
C 18: 3 n-3	Linolénico	Soya, otros aceites vegetales
C 18:3 n-6	gamma linolénico	Aceite de onagra, borraja
C 18:4 n-3	Estearidónico	Aceites de pescado, semillas de borraja, onagra
C 20:4 n-6	Araquidónico	Aceites de pescado
C 22:5 n-3	Clupanodónico	Aceites de pescado
C 22:6 n-3	Docosahexaenoico	Aceites de pescado

<http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/lipidos/acidosgrasos.html>

2.7 Efectos negativos del uso de lípidos en el rumen

El impacto de los lípidos en la fermentación ruminal se debe, en gran medida, a su efecto inhibitor sobre ciertas especies microbianas, lo que modifica la dinámica del ecosistema ruminal y altera la diversidad bacteriana (Carvalho et al., 2017).

Efecto en las bacterias ruminales: Uno de los primeros estudios sobre dietas ricas en lípidos evidenció que microorganismos como *Prevotella ruminicola* y algunas cepas de *Butyrivibrio fibrisolvens* se ven negativamente afectadas por los ácidos grasos palmítico (C16:0) y esteárico (Maczulak, 1987).

A pesar de su papel clave en la biohidrogenación (BH), *B. fibrisolvens* que realiza actividad lipolítica, también es susceptible a los efectos de los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), como el ácido linoleico (LA; cis-9, cis-12-C18:2) y el ácido α -linolénico (LNA; cis-9, cis-12, cis-15-C18:3), los cuales reducen su crecimiento. Se ha sugerido que la BH ocurre como un mecanismo de defensa de *B. fibrisolvens* para contrarrestar los efectos bacteriostáticos de los AGPI, siendo esta toxicidad mediada más por efectos metabólicos que por la alteración de la integridad de la membrana bacteriana (Emerson & Weimer, 2017).

Digestibilidad de los lípidos en rumiantes: La suplementación con lípidos en niveles elevados puede generar efectos negativos en la fermentación ruminal, lo que afecta la digestión de la fibra y el consumo de materia seca (CMS) (Wanapat et al., 2011; Fiorentini et al., 2015). Estos efectos están relacionados con el número de dobles enlaces en las moléculas de ácidos grasos y su alta disponibilidad en el rumen, lo que reduce la proporción de bacterias celulolíticas, disminuyendo así la eficiencia digestiva (Yang et al., 2009).

Además, un alto contenido de ácidos grasos en la dieta puede generar un recubrimiento de la fibra, impidiendo la adhesión de las bacterias especializadas en la digestión de la celulosa y limitando su actividad fermentativa (Sullivan et al., 2004).

2.8 Carne y *rigor mortis*

Según el Código Alimentario Español, se considera carne a la parte muscular comestible de los animales sacrificados y faenados bajo condiciones higiénicas. Esta definición incluye no solo el tejido muscular, sino también porciones de grasa, hueso, cartílago, piel, tendones, aponeurosis, nervios y vasos linfáticos y

sanguíneos que forman parte natural del tejido muscular y no se separan en los procesos de manipulación y transformación (Horcada & Polvillo, 2010).

La carne está compuesta principalmente por fibras musculares, colágeno y grasa. Tras el sacrificio del animal, el músculo experimenta cambios bioquímicos y biofísicos que conducen a su conversión en carne. Este proceso consta de tres fases:

1. **Fase pre-rigor** (hasta 30 minutos postmortem): En este periodo, el músculo conserva su excitabilidad debido a la presencia residual de oxígeno y nutrientes. El músculo es flácido y extensible, lo que corresponde a la actividad remanente del sistema nervioso.
2. **Fase de *rigor mortis*** (pocas horas *postmortem*): Se caracteriza por la rigidez muscular debido a la formación irreversible de puentes cruzados entre actina y miosina en ausencia de ATP. En esta etapa, el glucógeno se degrada anaeróbicamente para producir energía, generando ácido láctico, lo que reduce el pH muscular de valores cercanos a 7 hasta un rango de 5.4-5.8.
3. **Fase post-rigor o maduración**: Durante esta fase, las proteínas musculares comienzan un proceso de degradación controlada, lo que mejora la ternura y el sabor de la carne (Warris, 2003).

Valor nutricional de la carne: La carne es una fuente fundamental de nutrientes para la alimentación humana. Su composición varía según la especie, raza, sexo, edad y dieta del animal. En general, la carne contiene entre un 65-80% de agua, 16-22% de proteína y 1-15% de grasa (Lawrie, 1988).

En particular, la carne de cordero se caracteriza por su alto contenido en proteínas de alto valor biológico, con un promedio de 19.24% de proteína cruda (PC) por kg de materia seca (MS). Su contenido graso es aproximadamente del 12.7%, mientras que el contenido de humedad y cenizas es de 68.25% y 1.05%, respectivamente (Hoffman et al., 2002).

2.9 La carne de ovino y sus características organolépticas

La preferencia del consumidor por un alimento, en este caso la carne, es un fenómeno complejo influenciado por múltiples factores intrínsecos y extrínsecos. Según Fon-i-Furnols y Guerrero (2014), el comportamiento del consumidor puede agruparse en tres grandes categorías:

Factores psicológicos (individuales): Incluyen la experiencia previa, la cultura, las creencias, el conocimiento sobre el producto y las actitudes personales hacia la alimentación.

Factores sensoriales (asociados al producto): Están relacionados con la percepción del alimento a través de los sentidos e incluyen la apariencia visual, la textura, el sabor y el aroma. Estas características, conocidas como atributos organolépticos, desempeñan un papel clave en la aceptación del producto.

Factores de marketing (información adicional sobre el producto): Involucran el etiquetado, la marca, el precio, el origen, la certificación de calidad, el tipo de producción (convencional u orgánica) y otros elementos que influyen en la decisión de compra del consumidor. (Subiabre & Silva, 2021).

Sabor y aroma: El sabor es uno de los atributos más valorados por los consumidores y resulta de una interacción compleja de características sensoriales, entre ellas los compuestos aromáticos, los gustos básicos, la sensación en boca y el gusto posterior al consumo de la carne. Desde un punto de vista químico, los olores y sabores característicos de la carne provienen, en gran medida, de los compuestos volátiles generados durante su cocción (Pihin et al., 2016)

Color: El color es el atributo visual más relevante para el consumidor al momento de comprar carne fresca. La decisión de compra se basa en la percepción sensorial, donde el color y el olor desempeñan un papel clave antes de evaluar atributos como jugosidad, ternura y sabor, los cuales confirman las expectativas

del producto (Subiabre & Silva, 2021). En los últimos años, esta percepción ha cambiado debido a las diferentes formas de presentación de la carne. El envasado al vacío es una de las técnicas más utilizadas para preservar y prolongar la vida útil del producto (Karthickumar y Moses, 2015).

Textura: La textura es una propiedad sensorial multifactorial percibida a través de la visión, audición y tacto. Físicamente, se define como la resistencia que opone la carne a la fuerza ejercida durante la masticación, lo cual depende de múltiples factores. Entre ellos, destacan la estructura del músculo (componentes miofibrilares, conjuntivos y citoesqueléticos) y la composición química de la carne (contenido de humedad, grasa intramuscular y proteínas). Además, estos factores están influenciados por condiciones pre-mortem, como la raza, el sexo, la edad y el bienestar animal (Pihin et al., 2016).

2.10 Factores que influyen en la calidad de la canal y la carne

Según la FAO (2015), la calidad de la carne se define principalmente por su composición, en términos de la proporción entre magro y grasa, y por factores de palatabilidad como el aspecto, el olor, la firmeza, la jugosidad, la terneza y el sabor. La calidad nutritiva de la carne es un parámetro objetivo, mientras que la calidad percibida por el consumidor como producto comestible es altamente subjetiva. La evaluación fisicoquímica del producto permite determinar la calidad nutritiva de la carne. En contraste, la calidad de la canal se asocia principalmente con el nivel de engrasamiento, el tamaño y el peso, ya que estos factores permiten estimar, de manera indirecta, las proporciones de músculo y grasa, componentes esenciales en su aprovechamiento (Nogalski et al., 2014).

Factores intrínsecos

Raza: Las razas con una morfología más desarrollada y un mayor nivel de engrasamiento presentan una menor capacidad de retención de agua, lo que resulta en una carne más jugosa en comparación con razas de morfología menos definida o más magras. Además, la raza influye en la terneza de la carne, debido

a diferencias en la composición del tejido conjuntivo y muscular. Los músculos con un mayor contenido de fibras blancas, menor proporción de colágeno y una mayor susceptibilidad a la degradación proteica durante la maduración tienden a generar una carne más tierna (Figueroa, 2019).

Sexo: El desarrollo corporal de los animales está influenciado significativamente por el sexo, lo que también impacta la calidad de la canal. Generalmente, existen diferencias en el tamaño corporal entre sexos, donde los machos alcanzan un mayor peso debido a su tasa de crecimiento más elevada y prolongada en el tiempo. En contraste, las hembras alcanzan la pubertad a una edad más temprana debido a su mayor precocidad (Hammond, 1962).

Guía y Cañeque (1992), al estudiar el crecimiento de corderos de ambos sexos, observaron que los machos presentaban valores significativamente superiores en el peso medio de las piezas, excepto en el costillar y el lomo, donde las diferencias eran menores debido al desarrollo del tejido adiposo.

Por otro lado, las hembras tienden a acumular una mayor cantidad de grasa por unidad de músculo, lo que resulta en un menor índice músculo/grasa (M/G) en comparación con los machos. Velasco et al. (2000) reportaron que las hembras de cordero presentaban un mayor engrasamiento general de la canal, lo cual se reflejaba en una mayor proporción de grasa total, particularmente de grasa interna (omental y pelviorrenal) y subcutánea.

Edad: En términos generales, la velocidad de descenso del pH *postmortem* se incrementa con la edad del animal, observándose una tendencia a valores de pH más bajos en ejemplares de mayor edad. En ganado ovino, se ha reportado que los animales de mayor edad presentan una menor capacidad de retención de agua (CRA) (Sañudo y Sierra, 1982).

Por otro lado, Schönfeldt et al. (1993) confirmaron en su estudio que la carne de corderos y cabritos jóvenes es más tierna. Este fenómeno se debe, en parte, a los cambios estructurales del colágeno que ocurren con el envejecimiento del

animal. A medida que aumenta la edad, se produce un incremento en la cantidad de enlaces covalentes entre las moléculas de colágeno, lo que reduce su solubilidad y, en consecuencia, afecta la terneza de la carne (Kopp, 1976).

Peso: En general, el aumento del peso de la canal se asocia con una disminución en la capacidad de retención de agua (Solomon et al., 1980; Schönfeldt et al., 1993).

Asimismo, la intensidad del color de la carne aumenta con el peso vivo del animal, debido al incremento en la concentración de mioglobina en el tejido muscular (Sañudo et al., 1996; Rousset-Akrim et al., 1997).

El peso vivo es uno de los principales factores que influyen en la dureza de la carne. A medida que el peso del animal incrementa, se observa un aumento en la dureza del tejido muscular. En este sentido, Ouali (1991) reportó una alta correlación negativa entre el peso del animal y la blandura de la carne ($r = -0.95$; $p \leq 0.001$), lo que indica que animales más pesados tienden a producir carne de menor terneza.

Factores extrínsecos

Sistema de producción: El término “Sistema de producción” abarca una serie de factores relacionados con el manejo de los animales, tales como la alimentación, la edad al destete, el tipo de pastoreo y las condiciones ambientales. Se define como el conjunto de prácticas de manejo, alimentación, selección y reproducción implementadas en los rebaños, considerando tanto la ecología de la región como los condicionamientos socioeconómicos locales (Romero, 2014).

Un alto nivel de alimentación a lo largo de la vida del cordero permite que el animal alcance la madurez a una edad más temprana y con un menor peso de canal. Hegarty et al. (1999), al analizar el efecto de la energía en la dieta de

corderos, concluyeron que aquellos sometidos a un menor nivel nutricional presentaron una menor proporción de grasa en la canal.

Alimentación y época del año: El nivel de alimentación influye en la composición química de la carne. Un mayor aporte nutricional genera un incremento en el contenido lipídico y, de manera correlativa, una reducción en el porcentaje de agua en la musculatura. De este modo, un régimen alimenticio elevado favorece la terneza de la carne, dado que promueve un mayor depósito de grasa intramuscular y una disminución relativa del colágeno presente en el músculo (Fishell et al., 1985).

Latorre et al. (2017) señala que la composición de la dieta afecta la dureza de la carne, al observar que una alimentación rica en concentrados mejora su terneza. Asimismo, Crouse et al. (1978) reportó que los corderos alimentados con dietas de alta energía presentaron una carne más tierna en comparación con aquellos sometidos a dietas de bajo contenido energético.

La relación entre el pH final de la carne y la época del año en que se realiza el sacrificio de los animales puede explicarse por el impacto de la alimentación. En periodos con mayor disponibilidad de alimento, la ingesta abundante incrementa las reservas de glucógeno muscular, lo que se traduce en valores de pH más bajos en las canales (Romero, 2014). Santolaria (1993) observó que, en otoño, cuando la disponibilidad de alimento disminuye, se registra un aumento en el número de terneros con pH elevado ($p \leq 0.05$).

Estrés: El consumo de las reservas de glucógeno muscular en situaciones de estrés se encuentra directamente relacionado con el incremento de los valores de pH final en la carne. La presencia de animales estresados en el proceso de sacrificio eleva significativamente el pH *post mortem*, y esta variación depende de la intensidad del estrés. Se ha demostrado que, a mayor cantidad de factores estresantes, el pH final es más alto, dado que algunos de estos efectos son acumulativos (Grimaldo, 2022).

Los animales que llegan al sacrificio con reservas musculares reducidas de glucógeno presentan valores de pH final alejados del punto isoeléctrico de las proteínas (pH≈5.5). En estos casos, el pH no experimenta el descenso esperado y permanece superior a 6 debido al agotamiento del glucógeno muscular causado por el estrés (Chrystall et al., 1982). Esta condición afecta negativamente la conservación de la carne y genera un color más oscuro, lo que reduce su aceptación por parte del consumidor.

2.11 Características fisicoquímicas que definen la calidad de la carne

Color: La mioglobina es la principal proteína responsable del color de la carne, aunque otras hemoproteínas, como la hemoglobina y el citocromo C, también pueden influir en esta característica. En algunos casos, la alimentación del animal afecta la coloración de la carne. Por ejemplo, se ha observado que la carne de animales lactantes presenta un tono más claro y un menor índice de rojo en comparación con la de aquellos criados en pastoreo.

La incorporación de ciertos compuestos en la dieta, como antioxidantes naturales, contribuye a la estabilidad del color de la carne por un período más prolongado. Para la evaluación del color, se emplean métodos instrumentales, como colorímetros y espectrofotómetros, aunque también es posible utilizar patrones fotográficos para su comparación visual (Linares et al., 2014).

Textura: La terneza de la carne está determinada por la estructura miofibrilar, el tejido conjuntivo y las interacciones entre ambos. Además, factores como el contenido de grasa subcutánea e intramuscular y la tasa de enfriamiento *post mortem* influyen directamente en esta característica (Bianchi et al., 2008).

Asimismo, el contenido de grasa intramuscular tiene un impacto significativo en la terneza, ya que un mayor contenido de esta grasa se asocia con una carne más tierna. Este atributo puede modificarse a través de la alimentación del animal, lo que resalta la importancia de la nutrición en la calidad del producto final (Zimerman, 2009).

pH: La carne es el resultado de dos cambios principales que ocurren en el músculo durante el período *post mortem*: (1) el establecimiento del *rigor mortis* y (2) la maduración. Durante el *rigor mortis*, el proceso más relevante es la acidificación muscular, donde el pH disminuye de valores iniciales entre 7.0 y 7.3 a un rango de 5.5 a 5.7 dentro de las primeras 6 a 12 horas posteriores al sacrificio (Bianchi et al., 2008).

Esta condición levemente ácida resulta fundamental, ya que reduce la susceptibilidad de la carne a la contaminación microbiana, lo que favorece su conservación y vida útil (Reyes, 2021).

Capacidad de retención de agua: La carne cruda de mamíferos, inmediatamente después del sacrificio, contiene en promedio un 75% de agua (Lawrie, 1998), aunque este porcentaje varía según la especie y el tipo de músculo. Sin embargo, las mayores pérdidas de agua ocurren durante la cocción, pudiendo superar el 40% (Offer & Knight, 1988).

La capacidad de retención de agua (CRA) influye en la calidad de la carne y sus derivados, ya que está relacionada con la textura, ternura y color de la carne cruda, así como con la jugosidad y firmeza de la carne cocinada (Offer et al., 1989).

Según Hamm (1963), el 70% del agua en la carne fresca se encuentra en las miofibrillas musculares, el 20% en el sarcoplasma y el resto en el tejido conjuntivo. De este total, entre 4% y 5% está asociada a los grupos polares de las proteínas, siendo denominada "agua ligada".

Capacidad antioxidante: La capacidad antioxidante se define como la resistencia de un producto a la oxidación, un proceso mediado por radicales libres, los cuales son moléculas inestables generadas endógenamente a través de reacciones biológicas en procesos metabólicos normales y de defensa del organismo. La oxidación de biomoléculas esenciales, como proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, puede inducir inflamación, envejecimiento y el desarrollo de enfermedades.

Los antioxidantes desempeñan un papel clave al evitar que los radicales libres generen reacciones en cadena que conduzcan al daño celular (Ruiz, 2020).

Los primeros efectos de la oxidación en la carne afectan su calidad sensorial, provocando alteraciones en el color, textura y la aparición de sabores y olores indeseables. En particular, la oxidación provoca una pérdida de color, deteriora los atributos de textura (debido a la reducción de la solubilidad de proteínas y la capacidad de retención de agua) y genera olores rancios. Estos últimos se deben a la formación de compuestos volátiles de bajo umbral de detección, como aldehídos y cetonas, derivados de la oxidación de lípidos (Echegaray et al., 2021).

Contenido de grasa: La grasa externa cumple una función esencial en la conservación de la canal y los músculos, ya que minimiza las pérdidas de agua durante los procesos de refrigeración o congelación. Además, previene el oscurecimiento de la carne al reducir la oxidación de la mioglobina y evita el acortamiento por frío cuando la canal es congelada (Partida, 2015).

En la actualidad, el estudio sobre el consumo de grasas y su relación con la salud humana es un tema de creciente interés. Existen ácidos grasos esenciales que desempeñan funciones vitales en el organismo, pero que no pueden ser sintetizados endógenamente. Se ha demostrado que la relación entre los ácidos grasos poliinsaturados omega-6 y omega-3, así como la presencia de ácido linoleico conjugado (CLA), contribuye a la prevención de enfermedades cardiovasculares y presenta propiedades anticancerígenas (Reyes, 2021).

Los principales factores que influyen en la cantidad de grasa de la canal incluyen el peso vivo del animal, sexo, raza y alimentación (Partida, 2015).

2.12 LITERATURA CITADA

- Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2023). Food Outlook – Biannual report on global food markets. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc3020en>
- Berg J., Tymoczko J. & Stryer L. (2003). Bioquímica (Barcelona: Reverté).
- Bianchi G., Garibotto G., Franco J., Ballesteros F., Bentancur O. & Feed O. (2008). Calidad de carne ovina: impacto de decisiones tomadas a lo largo de la cadena. Seminario Técnico Internacional: “Enfoques sobre la calidad de carne y grasa en rumiantes: el consumidor como prioridad”, Montevideo.
- Briones, O., Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A., Pavón, N., & Perroni, Y. (2018). Biomasa y productividad en las zonas áridas mexicanas. Madera y bosques, 24(SPE). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401898>
- Buccioni A., Decandia M., Minieri S., Molle G. & Cabiddu A. (2012). Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. Anim Feed Sci Technol.; 174(1-2):1-25. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.02.009>.
- Burboa, C. E. B., Arce, M. E., Bianciotto, O., Ahumada, G. A. L., Vargas, J. M., Hernández-Montiel, L. G., ... & Rueda-Puente, E. O. (2017). Salicornia bigelovii (Torr.): Un sistema modelo para incorporarse como cultivo agrícola en zonas árido-desérticos. Biotecnia, 19, 46-50. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v19i0.413>
- Carvalho I., Fiorentini G., Castagnino P de S., Jesus R., Messana J. & Granja-Salcedo Y. (2017) Supplementation with lipid sources alters the ruminal fermentation and duodenal flow of fatty acids in grazing Nellore steers. Anim Feed Sci Technol. 227:142-153. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.02.017>.
- Chrystall, B.B., Devine, C.E., Snodgrass, M., and Ellery, S. (1982). Tenderness of exercise-stressed lambs. N. Z. J. Agric. Res., 25, 331.
- Consejo Mexicano de la Carne- CMC (2023). Compendio Estadístico 2023. México. https://comecarne.org/wp-content/uploads/2023/05/Compendio-Estadistico-2023_COMECARNE.pdf
- Cornejo Ponce, L. (2009). Recursos hídricos y desarrollo socioeconómico en zonas áridas: Importancia y perspectivas de nuevas tecnologías aplicadas al tratamiento de aguas naturales y/o residuales. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 17(3), 285-287. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718->

- Crouse, J.D., Field, R.A., Chant, J.L., Jr. Ferrel, C.L., Smith, G.C., and Harrison, V.L. (1978). Effect of dietary ingredient, sex and slaughter weight on cooked meat flavor profile of market lamb. *J. Anim. Sci*, 47, 1207.
- De Lucas Tron J., & Arbiza Aguirre S. I. (2000) Producción Ovina en el Mundo y México. México. Editores mexicanos unidos. Primera edición, Julio 2000.
- Díaz M. (2001). Características de la canal y de la carne de corderos lechales manchegos. Correlaciones y ecuaciones de predicción. Memoria para optar al grado de Doctor en Veterinaria. Madrid, España. p. 295.
- Díaz, M. (2001). Características de la canal y de la carne de corderos lechales manchegos. Correlaciones y ecuaciones de predicción. Memoria para optar al grado de Doctor en Veterinaria. Madrid, España. p. 295
- Díaz-Sánchez C. C., Jaramillo-Villanueva J. L., Bustamante-González A., Vargas-López S., Delgado-Alvarado A., Hernández-Mendo O., Casiano-Ventura M. A. (2018) Evaluación de la rentabilidad y competitividad de los sistemas de producción de ovinos en la región de Libres, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias Volumen 9 Número 2 2018*.
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i2.4495>
- Duarte V., Ramírez Z., & Castañeda S. (2016). Grasa sobrepasante: Aplicaciones y su proceso de obtención para la alimentación de rumiantes en el trópico. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 8(2), 228–242.
<https://doi.org/10.24188/recia.v8.n2.2016.192>
- Echegaray N., Pateiro M., Munekata E., Lorenzo J., Chabani Z., Farag A. & Domínguez R. (2021). Measurement of antioxidant capacity of meat and meat products: Methods and applications. *Molecules*, 26(13), 3880.
<https://doi.org/10.3390/molecules26133880>
- Emerson E, Weimer P.(2017). Fermentation of model hemicelluloses by *Prevotella* strains and *Butyrivibrio fibrisolvens* in pure culture and in ruminal enrichment cultures. *Appl Microbiol Biotechnol*; 101(10):4269-4278.
<https://doi.org/10.1007/s00253-017-8150-7>
- Enriquez L., González-Quijano A., Ollero R., Iglesias M., Rodríguez- Criado M. & Matas P. (2003). Ácidos grasos trans y nutrición. *Endocrinol Nutr.*, 50 (8):317-23.
- Enriquez, L., González-Quijano, A., Ollero, R., Iglesias, M., Rodríguez- Criado, M.A., y Matas, P. (2003). Ácidos grasos trans y nutrición. *Endocrinol Nutr.*, 50 (8):317-23.

- Fernando S., Purvis H., Najar F., Sukharnikov L., Krehbiel C. & Nagaraja T. (2010). Rumen Microbial Population Dynamics during Adaptation to a High-Grain Diet. *Appl Environ Microbiol.*; 76(22):7482-7490. <https://doi.org/10.1128/AEM.00388-10>
- Figuerola L. (2019). La calidad de la carne y la canal bovina en Colombia. Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ciencias de la Salud, Medicina Veterinaria y Zootecnia. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/f2444896-6abb-41c5-913c-e166142fa739>
- Fiorentini G., Carvalho I., Messana J., Canesin R., Castagnino P. , Lage J. & Berchielli T. (2015). Effect of lipid sources with different fatty acid profiles on intake, nutrient digestion and ruminal fermentation of feedlot Nellore steers. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 28(11), 1583 <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0130>
- Fishell, V.K., Aberle, E.D., and Perry, T.W. (1985). Palatability and muscle properties of beef as influenced by preslaughter growth rate. *J. Anim. Sci*, 61, 151-157.
- Flores Ortiz, C. M. (2016). I Reunión Nacional de Zonas Áridas. *Revista fitotecnica mexicana*, 39(1), 7-8. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802016000100003
- Font-i-Furnols and Guerrero. (2014). Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview. *Meat Science*, 98, 361-371.
- Grimaldo L. (2022). Influencia del bienestar animal durante el manejo pre-sacrificio en la calidad de la carne. <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/6537>
- Guía E. & Cañeque V. (1992). Crecimiento y desarrollo del cordero Talaverano. Evolución de las características de su canal. Área de Producción Animal. Consejería de Agricultura de la junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.
- Haenlein G. F. (2001) Past, Present, and Future Perspectives of Small Ruminant Dairy Research. *J. Dairy Sci.* 84:2097–2115 American Dairy Science Association, 2001. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74655-3](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74655-3)
- Haenlein G. F. (2001) Past, Present, and Future Perspectives of Small Ruminant Dairy Research. *J. Dairy Sci.* 84:2097–2115 American Dairy Science Association, 2001. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74655-3](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74655-3)

- Ham, A. (1975). Tratado de Histología. 7 ed. Editorial interamericana. México. 935 p.
- Hamm, R. (1963). Die Mikrostruktur des muscles und ihre beziehung zum wasserbindungsvermögen des fleisches. Fleischwirtschaft, 15, 298.
- Hammond J. (1962). Growth and Development of Mutton qualities in the sheep. In (eds Oliver y Boyd), Edinburgh and London.
- Hamzaoui S, Caja G., Tal J., Albanell E, Salamá A., (2021). Effect of Soybean Oil Supplementation on Milk Production, Digestibility, and Metabolism in Dairy Goats under Thermoneutral and Heat Stress Conditions. Animals (Basel). 2021 Jan 30;11(2):350. <https://doi.org/10.3390/ani11020350>
- Hegarty R., Neutze S. & Oddy U. (1999). Effect of protein and energy supply on the growth and carcass composition of lambs from differing nutritional histories. J. Agric. Sci., 132, 361-375.
- Hentz F. & Batistel F. (2024). Characterization of genes and proteins involved in the absorption of long-chain fatty acids in the gastrointestinal tract of cattle. Frontiers in Animal Science, 5, 1435257. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1435257>
- Hoffman C., Block R., Thevenet M. & Van W. (2002). Associations between omega-3 poly-unsaturated fatty acids from fish consumption and severity of depressive symptoms: An analysis of the 2005–2008 National Health and Nutrition Examining Survey. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids. 86:155-160.
- Horcada A. & Polvillo O. (2010). Conceptos básicos sobre la carne. *La Producción de carne en Andalucía*. Capítulo 5. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad de Sevilla. Grupo de investigación MERAGEM <https://core.ac.uk/download/pdf/51403621.pdf>
- Jorquera, A., Martínez, G., Peláez, C., & Zinn, R. (2017). Valor nutricional de las grasas para bovinos. Sitio Argentino de Producción Animal. https://produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/160-grasas_para_bovinos.pdf
- Juárez M., Horcada A., Alcalde MJ., Valera M., Polvillo O. & Molina A. (2009). Meat and fat quality of unweaned lambs as affected by slaughter weight and breed. Meat Sci. 83(2):308-13. doi: 10.1016/j.meatsci.2009.05.017
- Karthickumar P. & Moses J. (2015). Vacuum Packaging of Meat. Food Marketing and Technology, 42-43.

- Kopp, J. (1976). Tendresse de la viande bovine: principaux facteurs de variation liés à l'âge des animaux. Bull Tech. C.R.Z.V. Theix., I.N.R.A., 24, 37-46.
- Krehbiel CR. (2014). Applied nutrition of ruminants: Fermentation and digestive physiology Prof Anim Sci; 30(2):129-139. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30100-5](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30100-5)
- Kumar V., & Sridhar M. (2021). Study on Production of Microbial Lignolytic Enzymes for Deconstruction of Lignocellulosic Biomass for Feeding Ruminants: Current Trends and Future Study on Production of Microbial Lignolytic Enzymes for Deconstruction of Lignocellulosic Biomass for Feedi. En Research Aspects in Agriculture and Veterinary Science (Vol. 3). <https://doi.org/10.9734/bpi/raavs/v3/4417F>
- Latorre M., Iezzi S., Christensen S. & Purslow P. (2017). Bovinos machos jóvenes castrados versus enteros; calidad de carne y propiedades del tejido conectivo. RIA. Revista de investigaciones agropecuarias, 43(1), 72-77. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1669-23142017000100011&script=sci_arttext
- Lawrie R. (1988) Meat science, Pergamon press(Ed.), New York, 267 pp.
- Lawrie, R. (1998). Ciencia de la carne, Zaragoza. España.
- Lehninger, A. (1978). Bioquímica. Omega. Barcelona. 285-289 pp.
- Linares M, Lindon W. & Gallo C. (2013) Perfil de ácidos grasos de carne de ovino y caballos criados bajo un sistema de producción extensiva. Rev Investig Vet 2013;24(3):257-263. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rivep/v24n3/a01v24n3.pdf>
- Linares M., Lindon W. & Gallo C. (2014). Perfil de ácidos grasos de carne de ovino y caballos criados bajo un sistema de producción extensiva. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 24:257-263.
- Lodish H., Berk A., Matsudaira P., Kaiser A. C., Krieger A.C., Scott P.M., Zipursky L.S., and Darnell, J. (2005). Biología Celular y Molecular. 5ª ed., Buenos Aires: Medica Panamericana.
- Maczulak A. (1981) Effects of Long-Chain Fatty Acids on Growth of Rumen Bacteriat. Appl Env Microbiol. 42(5):856-862. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC244119/>.
- Maia M., Chaudhary L., Figueres L. & Wallace RJ. (2007). Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. Antonie Van Leeuwenhoek; 91(4):303-314.

<https://doi.org/10.1007/s10482-006-9118-2>

- Marino R., Atzori A.S., D'Andrea M., Iovane G., Trabalza-Marinucci M., Rinaldi L. (2016) Climate change: Production performance, health issues, greenhouse gas emissions and mitigation strategies in sheep and goat farming. *Small Ruminant Research*, Volume 135, Pages 50-59, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.12.012>.
- Marino R., Atzori A.S., D'Andrea M., Iovane G., Trabalza-Marinucci M., Rinaldi L. (2016) Climate change: Production performance, health issues, greenhouse gas emissions and mitigation strategies in sheep and goat farming. *Small Ruminant Research*, Volume 135, Pages 50-59, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.12.012>.
- Martinelli, M., & Martínez Carretero, E. (2014). Matorrales forrajeros en zonas áridas: indicadores de estado. *Multequina*, 23(1), 29-40.
- Mateos, G.G., Rebollar, P.G., y Medel, P. (1996): "Utilización de grasas y productos lipídicos en alimentación animal: Grasas puras y mezclas". XII Curso de especialización FEDNA: Avances en nutrición y alimentación animal.
- McDonald P., Edwards R., Greenhalgh J, Morgan C., Sinclair L. & Wilkinson R. (2011). "Animal Nutrition." Pearson Education Limited, 7th ed. <https://es.slideshare.net/slideshow/animal-nutrition-7th-edition/31912723>
- Montaño, N. M., Ayala, F., Bullock, S. H., Briones, O., García-Oliva, F., García-Sánchez, R., Maya, Y., Perroni, Y., Siebe, C., Tapia-Torres, Y., Troyo, E., & Yopez, E. (2016). Almacenes y flujos de carbono en ecosistemas áridos y semiáridos de México: Síntesis y perspectivas. *Terra Latinoamericana*, 34, 39-59.
- Montossi F., Font-i-Furnols M., del Campo M., San Julián R., Brito G., Sañudo C. (2013) Sustainable sheep production and consumer preference trends: Compatibilities, contradictions, and unresolved dilemmas. *Meat Science*, Volume 95, Issue 4, 2013, Pages 772-789. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.048>.
- Montossi F., Font-i-Furnols M., del Campo M., San Julián R., Brito G., Sañudo C. (2013) Sustainable sheep production and consumer preference trends: Compatibilities, contradictions, and unresolved dilemmas. *Meat Science*, Volume 95, Issue 4, 2013, Pages 772-789. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.048>.
- Mugabe L., Lents M., Pinheiro E. & Muchanga R. (2023) Alternative Animal Feeding for Intensive Livestock Farming Systems and Their Impact on

- Muñiz J. & Ibarra C. (2018). Evaluación de dos dietas en la alimentación de borregos de engorda en el municipio de Villaflores, Chiapas.
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24592.74247>
- Musco N., Tudisco R., Espósito G., Iomelli P., Totakul P., D'Aniello B., Lombardi P., Amato R., Wanapat M., Infascelli F., (2022). Efectos de la suplementación con semillas de lino sobre la producción de leche, la composición, los ácidos grasos de cadena impar y ramificada, y sobre la bioquímica del suero en cabras de pastoreo de Cilentana. *Animales* 2022, 12 (6), 783; <https://doi.org/10.3390/ani12060783>
- Niderkorn V., Martín C., Rochette Y., Julián S., Baumont R. (2015) Efectos asociativos entre ensilados de pasto ovillo y trébol rojo sobre el consumo voluntario y la digestión en ovinos: Evidencia de una sinergia sobre el consumo de materia seca digestible. *Journal of Animal Science* , volumen 93, número 10, 2015, páginas 4967–4976, <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9178>
- Niderkorn V., Martín C., Rochette Y., Julián S., Baumont R. (2015) Efectos asociativos entre ensilados de pasto ovillo y trébol rojo sobre el consumo voluntario y la digestión en ovinos: Evidencia de una sinergia sobre el consumo de materia seca digestible. *Journal of Animal Science* , volumen 93, número 10, 2015, páginas 4967–4976, <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9178>
- Nogalski Z., Wielgosz-Groth Z., Purwin C., Nogalska A., Sobczuk-Szul M., Winarski R. & Pogorzelska P. (2014). The effect of slaughter weight and fattening intensity on changes in carcass fatness in young Holstein-Friesian bulls. *Italian Journal of Animal Science*, 13(1), 2824. <https://doi.org/10.4081/ijas.2014.2824>
- Nunez A., Barcenas Y., Mejías A., & Marrero Y. (2020). Computer System for the Formulation of Food Rations in the Buffalo Breed Using Mathematical Models. *Rev Cie Téc Agr*;29(4), e10. https://doi.org/scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542020000400010&lng=es&nrm=iso
- Offer G. & Knight P. (1988). The structural basis of water-holding in meat. In *Developments in Meat Science*. 4, part 2 (ed R. Lawrie), pp. 173.
- Offer G., Knight P., Jeacocke R., Almond R., Cousins T., Elsey J., Parsons N., Sharp A., Starr R., & Purslow P. (1989). The structural basis of the water holding, appearance and toughness of meat and meat products. *Food Microstructure*, 8, 151.

- Ouali A. (1991). Animal Biotechnology and the Quality of Meat Production. In (eds L. Fiems, B. Cottyn y D. Demeyer), Vol. 85. Elsevier Science Publ., Amsterdam.
- Partida J., Casaya T., Rubio M. & Méndez M. (2015). Effect of breed sire on carcass traits and meat quality of Katahdin lambs. *Journal of Food Research*, 1:141-149.
- Patel V., Patel A., Parmar N., Patel A., Reddy B. & Joshi C. (2014). Characterization of the rumen microbiome of Indian Kankrej cattle (*Bos indicus*) adapted to different forage diet. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2014; 98(23):9749-9761. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6153-1>
- Peacock C. & Sherman D. M. (2010) Sustainable goat production—Some global perspectives. *Small Ruminant Research*, Volume 89, Issues 2–3, 2010, Pages 70-80. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.029>.
- Peacock C. & Sherman D. M. (2010) Sustainable goat production—Some global perspectives. *Small Ruminant Research*, Volume 89, Issues 2–3, 2010, Pages 70-80. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.029>.
- Pighin D., Pazos A., Chamorro V., Paschetta F., Cunzolo S., Godoy F., Messina V., Pordomingo & Grigioni G. (2016). A contribution of beef to human health: A review of the role of the animal production systems. *The Scientific World Journal*, 1-10.
- Pulina G., Milán M.J., Lavín M.P., Theodoridis A., Morin E., Capote J., Thomas D.L., Francesconi A.H.D, Caja G. (2018) Invited review: Current production trends, farm structures, and economics of the dairy sheep and goat sectors. *Journal of Dairy Science*, Volume 101, Issue 8, Pages 6715-6729, 2018. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14015>.
- Pulina G., Milán M.J., Lavín M.P., Theodoridis A., Morin E., Capote J., Thomas D.L., Francesconi A.H.D, Caja G. (2018) Invited review: Current production trends, farm structures, and economics of the dairy sheep and goat sectors. *Journal of Dairy Science*, Volume 101, Issue 8, Pages 6715-6729, 2018. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14015>.
- Rey M., Enjalbert F., Combes S., Cauquil L., Bouchez O. & Monteils V. (2014). Establishment of ruminal bacterial community in dairy calves from birth to weaning is sequential. *J Appl Microbiol.*; 116(2):245-257. <https://doi.org/10.1111/jam.12405>
- Reyes J. (2021). Efecto del nivel de suplementación alimenticia y zinc orgánico en las características de la canal y calidad de la carne de ovinos de pastoreo. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia. Universidad

Autónoma del Estado de México.

- Romero J. (2014). Efecto de la suplementación proteica en la calidad de la carne de ovinos y su perfil de ácidos grasos. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/58877>
- Rousset-Akrim S., Young O. & Berdagué J. (1997). Diet and growth effects in panel assessment of sheep meat odour and flavour. *Meat Sci.*, 45, 169-181.
- Rúa B. C., Rosero N. R., & Posada O. S. (2017). Efecto del sistema de producción sobre producción de leche y consumo de alimento en cabras. *Revista MVZ Córdoba*, 22(3), 2017. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1131>
- Rúa B. C., Rosero N. R., & Posada O. S. (2017). Efecto del sistema de producción sobre producción de leche y consumo de alimento en cabras. *Revista MVZ Córdoba*, 22(3), 2017. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1131>
- Ruiz M. (2020). Determinación de la actividad antioxidante. Universidad Simon Bolivar. <https://bonga.unisimon.edu.co/bitstreams/d71584bf-96ec-4289-9212-34c10b3a87b4/download>
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Limusa. 432 p. México.
- Santolaria, P. (1993). Influencia de factores genéticos y ambientales sobre los parámetros sensoriales que definen la calidad de la carne de añejo. Tesis doctoral., Universidad de Zaragoza.
- Sañudo C. & Sierra I. (1982). Estudio de la calidad de la canal y de la carne en animales cruzados Romanov x Rasa aragonesa I. Descripción y comparación entre los tipos de ternasco y pascual. *An. Fac. Vet. Zaragoza*, 16-17, 285-295.
- Sañudo C., Sierra I., Lopez M. & Forcada F. (1996). La qualité de la viande ovine. étude des différents facteurs qui la conditionnent. In *Commission des C.E. Rapport EUR 11479*, pp. 67-81.
- Schönfeldt H., Naude R., Bok W., Van Heerden S., Smit R. & Boshoff E. (1993). Flavour and tenderness related quality characteristics of goat and sheep meat. *Meat Sci.*, 34, 363.
- Schönfeldt H., Naude R., Bok W., Van Heerden S., Smit R. & Boshoff E. (1993). Flavour and tenderness related quality characteristics of goat and sheep meat. *Meat Sci.*, 34, 363.
- Serra Rafael (2024). Metabolismo de los lípidos. neurofisiología y fisiología

- médica en la Facultad de Medicina. Universidad de Sevilla, España.
<https://www.webfisio.es/autor/#>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAPa) (2023, 21 de julio). Población ganadera. Gobierno de México.
https://nube.siap.gob.mx/poblacion_ganadera/
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAPb) (2023, 15 de junio). Producción ganadera. Gobierno de México.
<https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAPc) (2023). Anuario estadístico de la producción ganadera. Gobierno de México.
https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/
- Solomon M., Kemp J., Moody W., Ely D. & Fox J. (1980). Effect of breed and slaughter weight on physical, chemical and organoleptic properties of lamb carcasses. J. Anim. Sci, 51, 1102-1107.
- Suárez Paternina E., Maza Ángulo L., Barragán Hernández W., Aguayo Ulloa L., Vergara Garay O. (2022) Características de la canal y perfil de ácidos grasos de la carne de corderos criollos suplementados con semilla de algodón y maíz. Revista Mexicana Ciencias Pecuarias 2022;13(1):97-114
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i1.5342>
- Subiabre I. & Silva M. (2021). Calidad de carne ovina: mediciones instrumentales y sensoriales. Agregación de valor del ovino en el Territorio Patagonia Verde, Región de Los Lagos. INIA.
<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/c20d2182-f820-47d0-af18-6d2ec1fe394c/content>
- Sullivan H., Bernard J., Amos H. & Jenkins T. (2004). Performance of lactating dairy cows fed whole cottonseed with elevated concentrations of free fatty acids in the oil. J Dairy Sci; 87:665–671. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73209-9
- Tarango Arámbula, L. A. (2005) Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y Semiáridas de México. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, vol. IV, núm. 2, 2005, pp. 17-21 Universidad Autónoma Chapingo
<https://www.redalyc.org/pdf/4555/455545052003.pdf>
- Teague W., Dowhower S., Baker S., Haile N., DeLaune P. & Conover D. (2016). "Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical and hydrological properties in tall grass prairie." Agriculture, Ecosystems & Environment, 234, 21-32.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.009>

- Toral, P., Hervás G. & Frutos P. (2024). INVITED REVIEW: Research on ruminal biohydrogenation: Achievements, gaps in knowledge, and future approaches from the perspective of dairy science. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24591>
- Velasco S., Lauzurica S., Cañeque V., Perez C., Ruiz de Huidobro F., Manzanares C. & Diaz M. (2000). Carcass and meat quality of Talaverana breed sucking lambs in relation to gender and slaughter weight. *Anim. Sci.*, 70, 253-263. DOI10.1017/S1357729800054710
- Villagra, P. E., Meglioli, P. A., Pugnaire, F. I., Vidal, B., Aranibar, J., & Jobbágy, E. (2013). Regulación de la partición del agua en zonas áridas y sus consecuencias en la productividad del ecosistema y disponibilidad de agua para los habitantes. *Red ProAgua CYTED*. <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/handle/10625/54815>
- Warris P. (2003). *Ciencia de la carne*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 309 p.
- Whitford, W. G. (2020). *Ecology of desert systems*. Academic Press. San Diego CA, United State.
- Wood M., Enser A., Fisher G., Nute P., Sheard R., Richardson S. & Hughes F. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review, *Meat Science*, Volume 78, Issue 4, Pages 343-358. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>.
- Yang S., Bu D., Wang J., Hu Z., Li D, Wei H.. Zhou L. & Loo J. (2009). Soybean oil and linseed oil supplementation affect profiles of ruminal microorganisms in dairy cows. *Animal*; 3:1562–1569. doi: 10.1017/S1751731109990462
- Zimerman M. (2009). Calidad de carne en pequeños rumiantes. *Presencia*. N°53:9- 12.

CAPITULO 3. LA SUPLEMENTACIÓN DIETÉTICA DE ÁCIDOS GRASOS PROTEGIDOS MEJORA EL RENDIMIENTO DEL CRECIMIENTO, LOS RASGOS DE LA CANAL Y LA CALIDAD DE LA CARNE EN CORDEROS SOMETIDOS A ESTRÉS TÉRMICO

Karim Antonio Carreón Negrete^{1*}, Jorge Alonso Maldonado Jáquez², Sandra Patricia Maciel Torres¹, Marco Andrés López Santiago¹, Alexis Ruiz Gonzalez⁴, Pablo Arenas Baez¹, Lorenzo Danilo Granados Rivera³

¹Universidad Autónoma Chapingo Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA-UACH). C.P. 35230 Bermejillo, Dgo. México., ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental La Laguna, C.P. 27440 Matamoros, Coah. México., ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental General Terán, C.P. 67400 General Terán, Nuevo León, México.

⁴Universidad de Laval, Quebec, Canadá. *Autor de correspondencia: ka_ant67@hotmail.com

3.1 RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de ácidos grasos protegidos (P-FA) en la dieta sobre el comportamiento productivo, el rendimiento de la canal y la calidad de la carne en corderos Dorper sometidos a estrés calórico (EC) en una región árida del norte de México. Se utilizaron veintiún corderos destetados (45 días de edad) asignados a tres tratamientos: dieta base (testigo), dieta con 50 g/día de P-FA y dieta con 100 g/día de P-FA. Durante 13 semanas, se evaluaron variables productivas, características de la canal y calidad fisicoquímica de la carne. La inclusión de 50 g/día de P-FA mejoró significativamente la ganancia diaria de peso, el consumo de materia seca, la eficiencia alimenticia y el rendimiento de la canal, además de aumentar el contenido de grasa intramuscular y la capacidad antioxidante del músculo. Se observó un descenso más rápido del pH postmortem en los grupos con P-FA, lo

Revista: Journal of Thermal Biology

Estatus: Por enviar

que indica una mayor disponibilidad de glucógeno muscular al sacrificio. Sin embargo, la dosis de 100 g/día no mejoró el rendimiento respecto a la dosis intermedia, y redujo el consumo de alimento. En conclusión, la inclusión de 50 g/día de P-FA representa una estrategia nutricional efectiva para mitigar los efectos del estrés calórico, mejorar la eficiencia productiva y optimizar la calidad de la carne en corderos destinados a producción en climas cálidos.

Palabras clave: Estrés calórico, ácidos grasos protegidos, ganancia de peso, calidad de la carne, producción ovina

3.2 INTRODUCCIÓN

Se estima que la demanda mundial de carne de cordero aumentará a una tasa anual compuesta de 3.5 % en los próximos cinco años (Stanišić et al., 2024); esto, en respuesta al crecimiento poblacional. En particular, el de la clase media en los mercados emergentes. Dicha población, demandará proteína de alta calidad, que además debe ser producida bajo condiciones de bienestar animal y con bajo impacto ambiental (Wang et al., 2021). En consecuencia, es necesario incrementar el rendimiento del crecimiento y reducir la edad de sacrificio de los corderos (Hernández-García et al., 2024).

Sin embargo, el cambio climático ha provocado efectos negativos en el ganado doméstico, uno de ellos es el estrés por calor (EC). El cual, es un problema crítico en la industria ganadera (Lee et al., 2019). Los factores que condicionan al EC son la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la hidratación de los animales (Sejian et al., 2018). En particular, un índice que se utiliza para medir el grado de EC en los animales es el de temperatura y humedad (ITH), que es la suma del efecto de la temperatura y la humedad relativa en el ambiente (Zhong et al., 2019). Al respecto, valores por encima de 78 unidades de ITH indican que los animales se encuentran en EC (Vicente-Pérez et al., 2020). En este punto, los animales aumentan su temperatura corporal dando lugar a una respuesta fisiológica y de comportamiento particular, que puede provocar graves riesgos en el bienestar y la salud del ganado (Leliveld et al., 2022). En este sentido, el EC afecta al rendimiento de los corderos, especialmente durante la estación estival cálida (Macías-Cruz et al., 2016, Vicente-Pérez et al., 2020). No obstante, las temperaturas ambientales estivales en las regiones áridas aumentan por encima de la tolerancia térmica en corderos de pelo (15-30 °C; Neves et al., 2009). Situación que los expone a EC, y provoca una reducción en el rendimiento de su crecimiento y en la producción de carne (Macías-Cruz et al., 2013; Vicente-Pérez et al., 2020).

Estas altas temperaturas ambientales provocan un mayor gasto de energía para el mantenimiento del cordero, debido a que se activa el mecanismo de termorregulación. En el cual, uno de los efectos documentados es la disminución del consumo de materia seca (Al-Dawood, 2017). Para subsanar este déficit nutricional, los corderos en EC disminuyen su actividad anabólica e incrementan el catabolismo de grasa y tejido muscular (Sejian et al., 2018). Debido a esto, corderos bajo condiciones de EC deberían consumir dietas energéticas, que le ayude a regresar a su zona termoneutra (Al-Dawood et al., 2017). Por lo que es posible pensar en la inclusión de grasa protegida como estrategia nutricional para incrementar la capacidad de termorregulación y el rendimiento productivo de corderos para carne bajo condiciones de EC. En este sentido, la grasa protegida se ha utilizado en la gestión de la termorregulación de corderos en condiciones de EC. Sin embargo, los resultados han mostrado una amplia variación en la respuesta general sobre el rendimiento del crecimiento (Choi et al., 2016; Al-Dawood et al., 2017; Aboul-Fotouh et al., 2019; Halakoo et al., 2020). Además, se ha prestado poca atención al efecto sobre el rendimiento en canal y la calidad de la carne de los corderos, a pesar de que el EC tiene efectos negativos en la canal, debido a la menor síntesis proteica asociada al EC (Sejian et al., 2017). Al respecto, se ha informado menor ganancia de peso en canal, peso en canal caliente, rendimiento en canal, área del músculo *Longissimus* y deposición de grasa en corderos engordados bajo EC (Kett, 2018, Rana et al., 2014). Asimismo, la calidad de la carne de cordero se ve afectada por efecto del EC. Dicha carne tiende a ser oscura y dura debido a que el pH final postmortem se mantiene alto (> 6.0), debido a una disminución en los niveles de glucógeno muscular al momento del sacrificio (Xing et al., 2019).

En el norte de México se ha establecido que durante el verano los corderos para carne se encuentran bajo condiciones de EC (Macías-Cruz et al., 2016, Vicente-Pérez et al., 2020, Nicolás-López et al., 2021). Lo cual afecta su crecimiento, rendimiento en canal y calidad de la carne (Avendaño-Reyes et al., 2011, Macías-Cruz et al., 2013, Macías-Cruz et al., 2020). Para mitigar los efectos negativos del EC en los corderos para carne en dicha región, se ha propuesto el uso de

agonistas adrenérgicos (Macías-Cruz et al., 2010, Avendaño-Reyes et al., 2011, Macías-Cruz et al., 2013) y compuestos fenológicos (Nicolás-López et al., 2023). En el primer caso con resultados positivos, en tanto, en el segundo no hubo cambios al incluir el compuesto fenólico. No obstante, no se encuentra documentado para dicha región el efecto del uso de grasa protegida en corderos para carne bajo condiciones de EC. Con base en estos antecedentes, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la incluir grasa protegida en la dieta de corderos en el consumo de materia seca, ganancia de peso, rendimiento en canal y calidad de carne bajo condiciones de estrés por calor en una región árida del norte de México.

3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1 Declaración ética de cuidado y bienestar animal

El estudio se realizó siguiendo los protocolos que rigen las normas de bienestar y cuidado de animales utilizados en la investigación y educación de la Organización Mundial de la Sanidad Animal (OMSA-CSAT, 2023) y de la Norma Oficial Mexicana NOM062-ZOO-1999.

3.3.2 Ubicación

El estudio se realizó en Bermejillo, Mapimí, Durango, en las instalaciones de la posta zootécnica de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo (URUZA-UACH), dentro de la región conocida como Comarca Lagunera, en el Norte de México. La posta zootécnica se encuentra ubicada en las coordenadas 25° 53' 51.208" Latitud Norte y 103° 35' 43.463" Longitud Oeste, a una altitud de 1120 msnm (GPS etrex 10, Garmin® Ltd, EUA). El clima es árido seco con una precipitación media anual de 240 mm (Villanueva-Díaz et al., 2011); la temperatura anual promedio a la sombra es de 25° C con mínimas de -1° C en invierno y máximas de 44 °C en verano (Cruz-Castrejón et al., 2007).

3.3.3 Tratamiento y corderos

Se seleccionaron 21 corderos Dorper destetados de 45 días, con peso vivo (PV) de 14 kg. Los cuales fueron asignados a tres grupos experimentales. Dieta base (Cuadro 1) (n=7; PV=13.8±0.81 kg); 50g P-FA (n=7; PV=14.2±1.56 kg) y 100g P-FA (n=7; PV=13.9±0.86 kg), estos fueron alimentados con una dieta integral (Cuadro 1) que se les ofreció en base seca de acuerdo al 5% del PV de cada cordero.

El experimento tuvo una duración de 13 semanas. A partir de la semana 7, los grupos 50g P-FA y 100g P-FA recibieron de manera adicional 50g y 100g de una mezcla de ácidos grasos protegidos (Lactomilk®, Nuplen, Gómez Palacio, Durango, México), que contiene 82% de ácidos grasos (de los cuales el 85% era ácido palmítico), 9.6% sales cálcicas y 3.5% de humedad.

Cuadro. 1: Ingredientes y composición química de la ración integral utilizada en la finalización de corderos Dorper.

Ingredientes	g⁻¹ MS
<i>Maíz roado</i>	171
<i>Maíz molido</i>	171
<i>Salvado de trigo</i>	90
<i>Pasta de soya</i>	90
<i>Urea</i>	10
<i>Melaza</i>	48
<i>Heno de triticale molido</i>	80
<i>Heno de alfalfa molida</i>	320
<i>Premezcla mineral - Bovi-8-ways</i>	20
Nutriente	Contenido (%)
<i>Materia seca (DM)</i>	93.34
<i>Proteína cruda (CP)</i>	19.2
<i>Fibra detergente neutra (FDN)</i>	34.58
<i>Fibra detergente ácida (FDA)</i>	19.06
<i>Nutrientes digestibles totales (TDN)</i>	78.14
<i>Energía Neta de Mantenimiento (NEm MJ kg⁻¹)</i>	7.85
<i>Energía Neta de Ganancia (NEg MJ kg⁻¹)</i>	5.09

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).

3.3.4 Desarrollo del experimento

Todos los corderos se identificaron con arete. Se aplicó desparasitación interna, externa y vitaminas (endectoplex L.A.+ADE, MEDIKER, 1ml por cada 50 de PV), selenio (Sel+E, NorVet, 1 ml por cada 50 kg de PV), además se vacunaron contra clostridiasis y ántrax.

Durante el periodo experimental los corderos estuvieron en corraletas individuales de 2 x 2.5 m provistas de sombra, comedero y bebedero. Antes de iniciar el experimento, los corderos estuvieron en periodo de adaptación durante 15 días. En dicho periodo estuvieron consumiendo una dieta alta en fibra. La cual, en forma paulatina se modificó hasta llegar a la dieta base (Cuadro 1). Durante todo el experimento se ofreció agua limpia y fresca *ad libitum*.

El alimento se suministró de acuerdo al 5% del PV, y se ajustó cada semana o cada vez que el rechazo era inferior al 10% con respecto al total. El consumo de alimento y agua se registraron cada día. A partir de la semana 6, los corderos del grupo 50g P-FA y 100g P-FA se adaptaron a la mezcla de ácidos grasos (AG). La cual, se agregó al comedero previo al ofrecimiento de alimento. Se inició con 5 g por cordero, cantidad que se fue duplicando cada día según el tratamiento, 50g o 100g de AG.

3.3.5 Variables

Las variables evaluadas fueron, PV inicial y final, ganancia diaria de peso (GDP), y eficiencia de alimentación (EA). Cada variable se midió de acuerdo a la siguiente descripción:

Consumo de agua y alimento:

Se obtuvo sustrayendo el valor de agua o alimento rechazado al valor total. El consumo de agua se expresó en litros y el consumo de alimento en kilogramos (Alvarado-Álvarez et al., 2018).

Ganancia diaria de peso: Se calculó como la diferencia entre el peso final y el peso inicial entre los días dentro de cada periodo de evaluación, se expresó en kilogramos/día.

Eficiencia de Alimentación: Se calcula dividiendo la ganancia total de peso entre el total de alimento consumido y se expresó en kilogramos de carne/ kilogramo de alimento ofrecido (Rodríguez-Aguilar et al., 2014).

3.3.6 Sacrificio de animales y evaluación de la calidad de la carne

El procedimiento de sacrificio de los corderos se realizó apegados a los requerimientos de la norma oficial mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, y de la ley de protección y bienestar animal para la sustentabilidad del estado de Durango (2013), según el título cuarto de intervenciones quirúrgicas y sacrificio de los animales.

El sacrificio se realizó en las instalaciones del laboratorio de anatomía y fisiología animal de URUZA-UACH. Todo el proceso fue supervisado desde el traslado de los animales con una duración aproximada de 5 minutos. Durante el traslado se cubrió la vista de los corderos con el fin de inducir menor estrés.

El sacrificio se realizó por medio de degüelle. Una vez sacrificado, los corderos fueron suspendidos por los cuartos posteriores para el retiro de la piel y la evisceración. Asimismo, se registró el peso de la piel, sangre, cabeza, patas y canal caliente utilizando una báscula digital modelo BAC-300, con capacidad de 300 ± 100 g (Rhino®, Guadalajara, México).

En la canal caliente se registró el valor de pH con un potenciómetro modelo HI99161 (HANNA® instruments, EUA). Para ello, se utilizó el miembro posterior derecho en dirección ventral, en los tiempos 0, 1, 3, 9, 12 y 24 h *post mortem*. El potenciómetro fue calibrado en intervalos regulares de tiempo para asegurar el funcionamiento adecuado del electrodo.

Se pesaron vísceras rojas (corazón, pulmones-tráquea, hígado, sangre, vaso), vísceras verdes, previa limpieza (intestinos y riñón), así como vísceras blancas (rumen) (NOM-194-SSA1-2004).

En la canal, se realizó un corte longitudinal en dirección posterior-anterior, siguiendo la columna vertebral. De la porción derecha de la canal, se realizó un corte transversal entre las vértebras 11 y 13 para obtener el ojo de la costilla. Además, entre las vértebras 1 y 5, se obtuvo una muestra de 250 g del músculo *Longissimus dorssi* que sirvió para medir el valor de capacidad de retención de agua y pérdida por goteo. Asimismo, de la vértebra 6 a la 10, se tomó una muestra de *Longissimus dorssi* con la cual se evaluó capacidad antioxidante, colorimetría (L^* a^+ y b^+) y composición química.

Todas las muestras de tejidos fueron pesadas en una báscula digital (Adir, México), separadas y etiquetadas en bolsas de sello hermético y depositadas en congelador a -7 °C hasta la realización de las pruebas de laboratorio. Para el caso de las muestras de capacidad antioxidante fueron criopreservadas en nitrógeno líquido a una temperatura de -190 °C.

La pérdida por goteo y la capacidad de retención de agua se realizó por el método de compresión entre dos placas propuesto por Braña et al. (2011).

Se evaluó el contenido de proteína, grasa, humedad y colágeno en el analizador de carne FoodScan™ Meat Analyzer.

El valor de color se obtuvo con un colorímetro (Minolta, Mod CR-400/410, Tokyo, Japan), a través de la medición de L^* (luminosidad), a^* (rojo-verde) y b^* (amarillo-azul) (Jerez-Timaure et al., 2020).

La capacidad antioxidante se realizó a través de la metodología propuesta por Serpen et al. (2012). Se emplearon 20 mg de muestra en 10 mL de solución de DPPH. La lectura de la absorbancia se realizó a intervalos de 15, 30, 60, 120 y 180 min en un espectrofotómetro UV-VIS modelo 721 (Scientific Instrument Co.

LTD, Shanghai, China) con una celda de cuarzo 10 mm a una longitud de onda de 525 nm. El resultado se expresa como porcentaje de inhibición de radicales de DPPH.

3.3.7 Análisis estadístico

El cambio de peso, consumo de materia seca, ganancia diaria de peso y eficiencia alimenticia se analizó mediante el procedimiento MIXED de SAS 9.4 para un diseño completamente aleatorio en un arreglo en medidas repetidas. Para ello, el modelo incluyó los efectos principales de los tratamientos, los periodos y la interacción del tratamiento por el periodo. La estructura de covarianza apropiada para el análisis se determinó probando diferentes estructuras, y la estructura de covarianza con valores negativos o cercanos a cero se eligió según los criterios de Akaike y Schwartz (Gómez et al., 2012).

Las variables referentes a la canal y calidad de carne se analizaron mediante un diseño completamente aleatorizado. Asimismo, se consideró como covariable el peso inicial de los animales mediante el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS 9.4. Se obtuvieron las medias y se compararon mediante el test de Tukey ajustado.

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Índice de temperatura y humedad

Durante el periodo experimental, se tuvo una variación de temperatura de 27 a 38 °C; y un ITH de entre 71 a 81 unidades (Cuadro 2). En el transcurso del día, los valores mínimos de temperatura se registraron en el periodo de las 07:00 y las 08:00 horas, y los valores máximos de temperatura entre las 15:00 y las 20:00 h. Un comportamiento similar se registró para los valores de ITH (Figura 1).

Cuadro. 2: Condiciones climáticas durante el periodo experimental.

	Promedio	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	33.3	27.4	38.3
Humedad relativa (%)	18.0	10.0	38.0
¹ ITH (Unidades)	76.3	71.0	80.8

¹Índice de temperatura – humedad

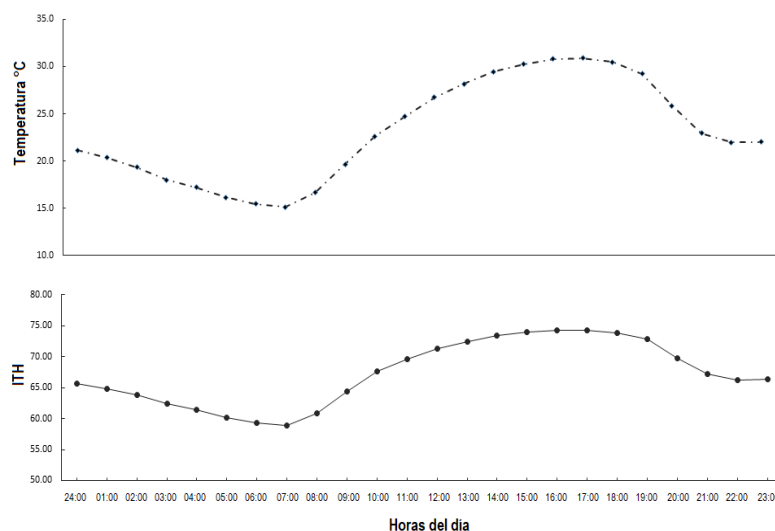


Figura 1: Patrón diario de la temperatura media ambiente y del índice de temperatura-humedad (ITH) durante el periodo experimental.

3.4.2 Respuesta en el comportamiento productivo

En el Cuadro 3, se muestran los resultados de las variables productivas por efecto de los tratamientos. A partir de la semana experimental seis, momento en que inició la inclusión en dieta de la grasa protegida, existió un efecto en el peso vivo (P 0.04), consumo de MS (P 0.01), ganancia diaria de peso (P 0.01), así como en la eficiencia alimenticia (P 0.01) de los corderos. En general, se mejoró la respuesta productiva cuando se incluyó 50 g de grasa protegida.

Cuadro. 3: Patrón diurno de la temperatura media ambiente y del índice de temperatura-humedad (ITH) durante el periodo experimental.

Variable	Testigo	¹ 50g P-FA	² 100g P-FA	P-Value	
Semana 1 - 6				Trat	Semana
³ PV (kg)	18.96	20.07	20.10	0.87	<0.01
⁴ CMS (kg/d)	0.78	0.81	0.79	0.53	<0.01
⁵ GDP (kg)	0.29	0.31	0.31	0.43	<0.01
⁶ EA (kg/kg)	0.38	0.39	0.38	0.67	<0.01
Semana 7 - 13					
PV (kg)	27.98b	30.99a	29.68ab	0.04	<0.01
CMS (kg/d)	1.17b	1.32a	1.16b	0.01	<0.01
GDP (kg)	0.34c	0.45a	0.38b	0.01	<0.01
EA (kg/kg)	0.30b	0.34a	0.33a	0.01	<0.01
Temperatura rectal (°C)	39.4 ^a	39.3 ^b	39.5 ^a	<0.01	<0.01

^{abc} Medias con superíndices diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$); ¹50 g de grasa de protegida; ²100 g de grasa de protegida; ³PV= Peso vivo; ⁴CMS= Consumo de materia seca, ⁴GDP= Ganancia diaria de peso; ⁶EA= Eficiencia alimenticia.

En la Figura 2, se muestra el comportamiento del consumo de materia seca y el cambio del peso vivo en los corderos a partir de la semana seis experimental. Al respecto, los corderos con inclusión en dieta de 50 g/d de grasa protegida tuvieron mayor consumo. Además, se observó que este grupo experimental (50 g P-FA) tuvo el mejor cambio de peso. En el caso de los corderos que consumieron 100 g de grasa protegida, su consumo de MS fue disminuyendo en el tiempo en comparación con los corderos del tratamiento testigo y a los que se incluyó 50 g de grasa protegida. No obstante, lo anterior, el cambio en el peso vivo fue superior respecto a los corderos del tratamiento testigo.

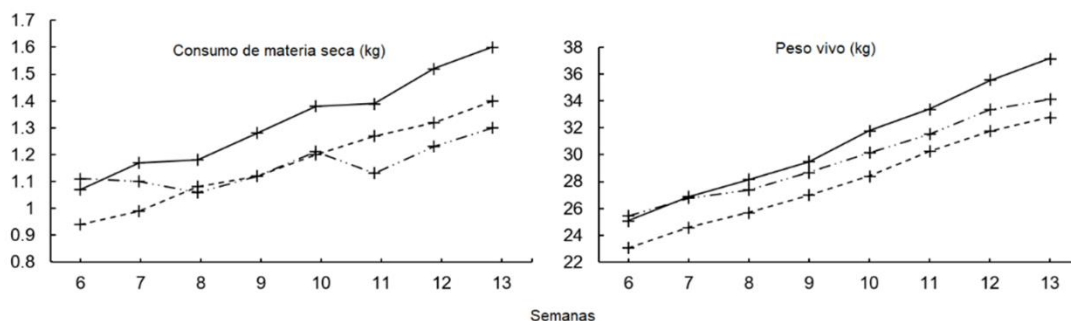


Figura 2: Comportamiento del consumo de materia seca y peso vivo durante el periodo de adición de grasa protegida en la dieta de corderos Dorper en finalización en un ambiente caluroso.

3.4.3 Respuesta en componentes de la canal y no canal

Los resultados de las características de la canal y la deposición de grasa corporal se muestran en el Cuadro 4. Los corderos con inclusión de 50 g de grasa protegida tuvieron un mayor peso (P 0.02) y rendimiento de la canal caliente (P 0.03). Con respecto a la deposición de grasa corporal, la grasa visceral (P 0.01) y grasa renal (P 0.01) se incrementaron en los corderos con inclusión de grasa protegida con respecto a los corderos sin inclusión de grasa.

Cuadro. 4: Efecto de la inclusión de dos niveles de grasa protegida en las características de la canal de corderos Dorper en finalización en un ambiente cálido.

Variables	Testigo	¹ 50g P-FA	² 100g P-FA	P
Peso vivo vacío	36.98b	40.23a	33.00c	0.02
Peso en canal caliente (kg)	17.58b	19.77a	14.98c	0.03
Rendimiento en canal caliente (%)	46.89b	49.00a	45.07b	0.05
Grasa visceral (%)	0.57b	1.23a	0.88a	0.01
Grasa renal (%)	0.20c	0.41a	0.31b	0.01

a, b, c: Las medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). ¹50g P-FA= 50 g de ácidos grasos; ²100g P-FA= 100 g de ácidos grasos

El resultado del peso de los componentes no pertenecientes a la canal (como % del peso en canal) se muestra en el Cuadro 6. El peso del corazón (P 0.02), sangre (P 0.01), pulmón (P 0.04), intestino (P 0.01) y rumen (P 0.01) fueron mayores para los corderos con inclusión de grasa protegida. En particular, corderos del tratamiento 50g P-AF. Sin embargo, el peso de la cabeza, piel, patas, hígado, vaso y riñón fueron similares ($P \leq 0.19$) entre los corderos en estudio (Cuadro 5).

Cuadro. 5: Efecto de la inclusión de dos niveles de grasa protegida en las características de los componentes no pertenecientes a la canal de corderos Dorper en finalización en un ambiente cálido.

Variables (%)	Testigo	50g P-FA	100g P-FA	P
Cabeza	3.55	3.81	3.56	0.58
Piel	10.47	10.29	11.40	0.27
Patas	2.36	2.38	2.11	0.88
Corazón	0.35b	0.54a	0.46a	0.02
Hígado	2.20	2.07	2.11	0.35
Sangre	3.60b	4.18a	3.95ab	0.01
Pulmón	1.88b	1.94b	2.19a	0.04
Vaso	0.19	0.22	0.20	0.27
Intestino	3.05b	4.26a	2.88b	0.01
Riñón	0.23	0.25	0.26	0.39
Rumen	2.74b	3.29a	2.92b	0.01

En el Cuadro 6, se muestran los resultados de las características fisicoquímicas de los corderos en el estudio. Al respecto, se observó una tendencia hacia una mayor pérdida por goteo (P 0.09) en la carne de corderos en el tratamiento 50g P-FA. En el caso, de las variables de color, b⁺ tuvo valores medios mayores (P 0.01) en la carne de corderos con inclusión de grasa protegida.

Cuadro. 6: Efecto de la inclusión de dos niveles de grasa protegida en las características fisicoquímicas de la carne de corderos Dorper en finalización en un ambiente cálido.

Variables	Testigo	50g P-FA	100g P-FA	P
Capacidad de retención de agua (%)	64.02	66.22	65.49	0.47
Pérdida por goteo (%)	0.95	1.15	0.83	0.09
Color				
L [*]	43.14	40.37	41.23	0.14
a ⁺	21.47	20.95	20.58	0.48
b ⁺	8.67b	7.80a	7.82a	0.01

T1= Testigo; T2= 50 g de Ácidos grasos; T3= 100 g de Ácidos grasos; CRA: capacidad de retención de agua; PG: pérdida por goteo; T. prom: temperatura promedio; a, b, c: Las medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (p<0.05).

En comparación con los corderos sin inclusión de grasa protegida, el pH *post mortem* de la carne fue menor a las 3, 6 y 12 horas en carne de corderos con

inclusión de grasa protegida. No obstante, a las 24 horas el pH en los tratamientos fue similar (Figura 3).

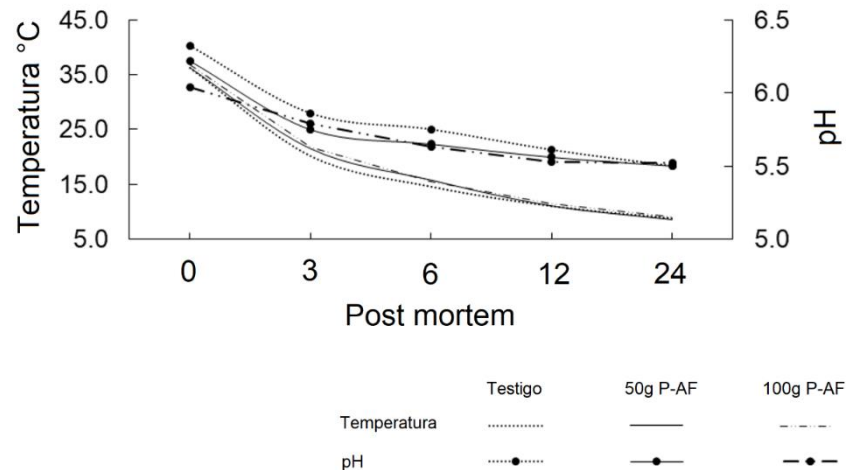


Figura 3: Descenso de la temperatura y pH de carne de corderos en finalización con inclusión de dos niveles de grasa de sobrepaso dietario en un ambiente caluroso.

En el Cuadro 7, se muestran los resultados de las características nutricionales de la carne de corderos en estudio. El contenido de proteína y colágeno en la carne no se modificó por efecto de tratamientos. Para el caso del contenido de grasa y el porcentaje de humedad en carne si se observó un cambio en los valores medios entre tratamientos. Al respecto, el contenido de grasa fue mayor ($P 0.01$) en carne de corderos con inclusión de grasa protegida, en tanto, el contenido de humedad disminuyó ($P 0.03$) en esta misma carne.

Cuadro. 7: Efecto de la inclusión de dos niveles de grasa protegida en la calidad nutricional y la capacidad antioxidante de la carne de corderos Dorper en finalización en un ambiente cálido.

Variables	Testigo	50g P-FA	100g P-FA	P
Proteína (%)	20.90	20.98	20.43	0.58
Grasa (%)	5.53b	7.87 ^a	7.58a	0.01
Colágeno (%)	1.67	1.71	1.72	0.26
Humedad (%)	72.38a	69.17b	70.64b	0.03
Capacidad antioxidante				
DPPH (mgml ⁻¹ MeOH)	43.86ab	42.78b	44.46a	0.01

DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo): radical libre estable que se utiliza para evaluar la capacidad antioxidante de algún compuesto.

Asimismo, de acuerdo con los resultados del ensayo, la suplementación de la dieta de los corderos con 50 g P-FA incrementó los valores de DPPH en comparación con los corderos suplementados con 100 g P-FA y el grupo control (Cuadro 7).

3.5 DISCUSIÓN

El presente estudio demostró que la suplementación dietética con ácidos grasos protegidos (P-FA) mejoró significativamente el desempeño productivo, las características de la canal y la calidad de la carne de corderos Dorper sometidos a condiciones de EC en una región árida del norte de México. Estos hallazgos coinciden con el creciente interés en estrategias nutricionales destinadas a mejorar la termotolerancia y la productividad en rumiantes expuestos a calor ambiental.

La suplementación con 50 g/día de P-FA resultó en un aumento significativo en el CMS, GDP y EA, en comparación tanto con el grupo control como con el grupo suplementado con 100 g/día. Esta mejora puede atribuirse a la alta densidad energética de las grasas protegidas, que aportan más del doble de energía metabolizable que los carbohidratos sin incrementar significativamente la producción de calor metabólico (Choi et al., 2016; Al-Dawood, 2017). Al respecto, en condiciones de EC, los corderos reducen su consumo para minimizar la

producción interna de calor (Sejian et al., 2018), lo que compromete su productividad. Asimismo, las grasas protegidas evitan la biohidrogenación ruminal y son absorbidas en el intestino delgado, lo que minimiza su interferencia con la fermentación microbiana (Palmquist y Jenkins, 1980). Este mecanismo favorece la partición de nutrientes hacia procesos anabólicos como la síntesis muscular y el depósito lipídico.

La menor temperatura rectal observada en el grupo con 50 g de P-FA sugiere una mejor eficiencia termorreguladora, posiblemente relacionada con una mayor eficiencia bioenergética mitocondrial y una reducción del estrés oxidativo (Chauhan et al., 2014). En contraste, la disminución del CMS en el grupo con 100 g de P-FA podría reflejar un umbral superior de inclusión lipídica, que afecta negativamente la digestión de la fibra y la actividad microbiana ruminal (Halakoo et al., 2020). Tendencias similares fueron reportadas por Aboul-Fotouh et al. (2013), quienes no observaron beneficios adicionales con dosis superiores a 60 g/día.

Por otro lado, los corderos suplementados con 50 g/día de P-FA presentaron mayor peso y rendimiento de canal, así como un aumento en los depósitos de grasa visceral y renal. Este resultado es coherente con la absorción postruminal de ácidos grasos de cadena larga, como el ácido palmítico (85% del suplemento utilizado), los cuales se depositan preferentemente en los tejidos adiposos, incluyendo los intramusculares y viscerales (Doreau et al., 2009; Macías-Cruz et al., 2020). El mayor rendimiento de canal también puede reflejar una mejor preservación de masa muscular debido a una menor necesidad de catabolismo tisular para cubrir los requerimientos energéticos en condiciones de EC (Sejian et al., 2018).

El aumento en el peso del corazón, pulmones y rumen en el grupo suplementado con 50 g de P-FA podría estar relacionado con una mayor demanda metabólica y adaptación cardiovascular frente al estrés térmico. Este hallazgo concuerda con lo señalado por Kett (2018), quien sugirió que el aumento en el tamaño cardíaco

bajo EC permite sostener mecanismos de enfriamiento evaporativo. No obstante, tales cambios no fueron observados en el grupo de 100 g, lo que refuerza la hipótesis de que un exceso de lípidos podría comprometer la digestión de nutrientes.

La suplementación con P-FA también influyó en las características fisicoquímicas de la carne. Los corderos suplementados presentaron un mayor contenido de grasa intramuscular y menor humedad, siendo el grupo de 50 g/día el que mostró el perfil más deseable desde el punto de vista comercial. Este marmoleo favorece la jugosidad y terneza de la carne (Xing et al., 2019), atributos altamente valorados por los consumidores.

El descenso del pH *postmortem* fue más rápido en los grupos suplementados con P-FA, especialmente entre las 3 y 12 horas, lo que indica una mejor preservación del glucógeno muscular al momento del sacrificio. El EC agudo suele agotar las reservas de glucógeno, resultando en un pH final elevado (>6.0) y carne dura y oscura (Sejian et al., 2017). En este estudio, los ácidos grasos protegidos probablemente actuaron como fuente energética alternativa, preservando el glucógeno muscular. Además, el ácido palmítico puede estabilizar las membranas celulares, reduciendo la peroxidación lipídica (Serpen et al., 2012).

La mayor capacidad antioxidante (DPPH) observada en el grupo con 50 g/día refuerza la hipótesis de que los lípidos dietarios mejoran el balance redox celular y contribuyen a prolongar la vida útil de la carne. Jerez-Timaure et al. (2020) también reportaron una mejor estabilidad del color de la carne con suplementación lipídica. Por otro lado, el aumento en el valor de b* (amarillo) puede deberse a la deposición de pigmentos o a estados de oxidación lipídica, aunque esto requiere mayor investigación.

Mientras que varios estudios han reportado efectos positivos de las grasas protegidas bajo EC (Al-Dawood et al., 2017), otros han mostrado resultados inconsistentes (Choi et al., 2016; Halakoo et al., 2020). Estas discrepancias pueden explicarse por diferencias en condiciones ambientales (por ejemplo,

valores del índice THI), genética animal, composición de la dieta base, duración de la suplementación y tipo de grasa utilizada (saturada vs insaturada).

Por ejemplo, Choi et al. (2016) realizaron su estudio bajo condiciones térmicas más benignas (THI <75), lo cual posiblemente limitó la manifestación de los beneficios de la suplementación grasa. En cambio, el presente estudio registró valores de THI superiores a 76.3, superando el umbral para EC en ovinos (Vicente-Pérez et al., 2020), lo que justifica el uso de estrategias nutricionales específicas para esta condición.

Asimismo, la suplementación con 50 g/día de P-FA no solo mejoró la productividad de los corderos, sino que también permitió reducir la edad al sacrificio, lo cual es deseable desde una perspectiva económica y ambiental. Disminuir el tiempo de engorda en condiciones de EC reduce el uso de agua, el costo del alimento y las emisiones de metano por unidad de carne producida (Wang et al., 2021). Esto se alinea con los objetivos globales de intensificación sostenible en la producción ganadera, especialmente en regiones áridas y semiáridas vulnerables al cambio climático.

3.6 CONCLUSIÓN

Bajo las condiciones experimentales del estudio, es posible concluir que la suplementación dietética con 50 g/día de ácidos grasos protegidos (P-FA) mejora significativamente el rendimiento productivo, las características de la canal y la calidad de la carne en corderos Dorper bajo condiciones de estrés por calor en el norte árido de México. El nivel óptimo de inclusión de 50 g/día incrementó el consumo de materia seca, la ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia, al mismo tiempo que favoreció la termorregulación y la adaptación metabólica. Además, la suplementación con P-FA mejoró el rendimiento de la canal, la deposición de grasa intramuscular y la capacidad antioxidante de la carne, abordando desafíos clave impuestos por el HS en la producción de corderos.

Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para el manejo ganadero en regiones con estrés por calor, ofreciendo una estrategia nutricional práctica para mejorar la productividad y la calidad de la carne, al tiempo que se reduce la huella ambiental. Futuras investigaciones deberían explorar los efectos a largo plazo de la suplementación con P-FA y su aplicabilidad en diferentes razas y sistemas de producción.

3.7 REFERENCIAS

- 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>
- Aboul-Fotouh GE, El-Garhy GM, Abd El-Mola AM, Mousa GA, Azzaz HH (2017). Effect of using some fibrolytic enzymes in the ration on lactating goats performance. *Egypt. J. Nut. Feeds*, 20(2): 1. <https://doi.org/10.21608/ejnf.2017.103671>
- Alvarado-Álvarez H., Guerra-Casas L., Vázquez-Montes de Oca R., Ceró-Rizo Á., Gómez-Villalva J. & Gallón-Valverde E. (2018). Comportamiento de indicadores productivos en dos líneas de hembras Broilers con dos sistemas de alimentación en condiciones ambientales del trópico. *Revista de Producción Animal*, 30(3), 6-12.
- http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-79202018000300002&script=sci_arttext
- Avendaño-Reyes L., Macías-Cruz U., Álvarez-Valenzuela F. D., Águila-Tepato E., Torrentera-Olivera N., & Soto-Navarro S. (2011). Effects of zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass characteristics, and wholesale cut yield of hair-breed ewe lambs consuming feedlot diets under moderate environmental conditions. *Journal of Animal Science*, 89(12), 4188-4194. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-3904>
- Braña-Varela D., Ramírez-Rodríguez E., Rubio-Lozano M., Sánchez-Escalante A., Torrescano-Urrutia G., Arenas de Moreno M., Partida de la Peña J., Ponce-Alquicira E. & Ríos Rincón F. (2011). Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. México.
- Chauhan A., Vera J. & Wolkenhauer O. (2014). Biología de sistemas de la fisión y fusión mitocondrial e implicaciones para la enfermedad y el envejecimiento. *Biogerontología* 15, 1–12. DOI: [10.1007/s10522-013-9474-z](https://doi.org/10.1007/s10522-013-9474-z)

- Choi, Y. S., Sung, J. M., Park, J. D., Hwang, K. E., Lee, C. W., Kim, T. K., Jeon, K. H., Kim, C. J., & Kim, Y. B. (2016). Quality and sensory characteristics of reduced fat chicken patties with pork back fat replaced by dietary fiber from wheat sprout. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 36(6), 799– 806. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.6.799>
- Cruz-Castrejón U., Gerardo-Véliz F., Rivas-Muñoz R., Alfredo-Flores J., Hernández H. & Duarte-Moreno G. (2007). Respuesta de la actividad sexual a la suplementación alimenticia de machos cabríos tratados con días largos con un manejo extensivo a libre pastoreo. *Técnica Pecuaria México* 2007;45(1):93-100. [https://www.researchgate.net/publication/28141502 Respuesta de la actividad sexual a la suplementacion alimenticia de machos cabrios tratados con dias largos con un manejo extensivo a libre pastoreo](https://www.researchgate.net/publication/28141502_Respuesta_de_la_actividad_sexual_a_la_suplementacion_alimenticia_de_machos_cabrios_tratados_con_dias_largos_con_un_manejo_extensivo_a_libre_pastoreo)
- Doreau M., Laverroux S., Normand J., Chesneau G. & Glasser F. (2009). Effect of linseed fed as rolled seeds, extruded seeds or oil on fatty acid rumen metabolism and intestinal digestibility in cows. *Lipids*, 44 (2009), pp. 53-62. <https://doi.org/10.1007/s11745-008-3250-x>
- Gómez S., Torres V., García Y., & Navarro J. (2012). Procedimientos estadísticos más utilizados en el análisis de medidas repetidas en el tiempo en el sector agropecuario. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* , 46 (1), 1-7.
- Hernández-García P., Orzuna-Orzuna J., Chay-Canul A., Vázquez-Silva G., Díaz-Galván C. & Razo-Ortíz, P. (2024). Meta-analysis of organic chromium dietary supplementation on growth performance, carcass traits, and serum metabolites of lambs, *Small Ruminant Research*, Vol. 233, ISSN 0921-4488, <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2024.107254>
- Jerez-Timaure N., Berkhoff M., Leal M., Pérez V. & Díaz P. (2020). Influencia de los métodos combinados de conservación por frío y tipo de envasado sobre la calidad de la carne bovina cruda y cocida. *Nacameh*, ISSN-e 2007-0373, Vol. 14, Nº. 1, 2020, págs. 1-15. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7503491>
- Kett, L. E. (2018). Evaluation of the Interaction of Beta-Adrenergic Agonists Supplementation and Heat Stress on Growth Performance and Carcass Composition in Feeder Lambs. Department of Animal Science. University of Nebraska-Lincoln. <https://digitalcommons.unl.edu/animalscidiss/168/>
- Lees A., Sejian V., Wallage A., Steel C., Mader T., Lees J. & Gaughan, J. (2019). The Impact of Heat Load on Cattle. *Animals*, 9(6), 322. <https://doi.org/10.3390/ani9060322>
- Leliveld L., Lovarelli D., Finzi A., Riva E. & Provolo G. (2022). Effects of cow reproductive status, parity and lactation stage on behaviour and heavy

breathing indications of a commercial accelerometer during hot weather conditions. *Int J Biometeorol* 67, 1263–1272. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02496-2>

Macías-Cruz U., Álvarez-Valenzuela F., Torrentera-Olivera N., Velázquez-Morales J., Correa-Calderón A., Robinson P. & Avendaño-Reyes L. (2010). Effect of zilpaterol hydrochloride on feedlot performance and carcass characteristics of ewe lambs during heat-stress conditions. *Animal Production Science*, 50(10), 983-989. <https://doi.org/10.1071/AN10094>

Macías-Cruz U., Avendaño-Reyes L., Álvarez-Valenzuela F., Torrentera-Olivera N., Meza-Herrera C., Mellado-Bosque M. & Correa-Calderón A. (2013). Crecimiento y características de canal en corderas tratadas con clorhidrato de zilpaterol durante primavera y verano. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(1), 1-12. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242013000100001

Macías-Cruz U., López-Baca M., Vicente R., Mejía A., Álvarez F., Correa-Calderón A., Meza-Herrera C., Mellado M., Guerra-Liera J., 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., Chay-Canul A., López-Baca M. & 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>

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>

Nicolás-López P., Macías-Cruz U., Avendaño-Reyes L., Valadez-García K., Mellado M., Meza-Herrera C., Díaz-Molina R., Castañeda V., 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., & 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-033-SAG/ZOO-2014. Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. Diario Oficial de la Federación; 2015.

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

NOM-194-SSA1-2004, Norma Oficial Mexicana, Productos y servicios. Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio. Especificaciones sanitarias de productos. Diario Oficial de la Federación.

OMSA-CSAT (2023). Código Sanitario para los Animales Terrestres. Organización Mundial de Sanidad Animal. <https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-codigo-terrestre/?id=169&L=1&htmlfile=preface.htm>

Palmquist D. L. & Jenkins T. C. (1980). Fat in lactation rations, Review. Journal of Dairy Science, 63, 1–14. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)82881-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)82881-5)

Rana M., Hashem M., Akhter S., Habibullah M., Islam M. & Biswas R. (2014). Effect of heat stress on carcass and meat quality of indigenous sheep of Bangladesh. Bangladesh Journal of Animal Science, 43(2), 147–153. <https://doi.org/10.3329/bjas.v43i2.20717>

Rodríguez-Aguilar D., Ariza-Nieto C., & Afanador-Téllez G. (2014). Potencial del almidón resistente retrogradado de papa frente a otros aditivos funcionales usados en pollos de engorde. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, 61(1), 44-63. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v61n1.43883>

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>

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>

- Serpen A., Gökmen V., & Fogliano V. (2012). Total antioxidant capacities of raw and cooked meats. *Meat science*, 90(1), 60-65. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.05.027>
- Stanišić N., Ružić-Muslić D., Maksimović N., Cekić B., Caro Petrović V., Ćosić I. & Lazarević M. (2024). Assessing the Impact of Sustainable Pasture Systems on Lamb Meat Quality. *Processes*, 12(7), 1532. <https://doi.org/10.3390/pr12071532>
- Vicente-Perez R., Macías-Cruz U., Avendaño-Reyes L., Correa-Calderón A., López-Baca M. & Lara-Rivera 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
- Villanueva-Díaz J., Cerano-Paredes J., Constante-Garcia V., Stahle D., Estrada-Avalos J. & Tostado-Plascencia M. (2011). Variabilidad hidroclimática histórica del norte de México inferida con anillos de crecimiento de Douglas-Fir. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2:221-234. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000800005
- Wang X., Müller C., Elliot J., Mueller ND., Ciais P., Jägermeyr J., Gerber J., Dumas P., Wang C., Yang H., Li L., Deryng D., Folberth C., Liu W., Makowski D., Olin S., Pugh TAM., Reddy A., Schmid E., Jeong S., Zhou F. & Piao S. (2021). Global irrigation contribution to wheat and maize yield. *Nature Communications*, 12(1), 1235). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21498-5>
- Xing T., Gao F., Tume R., Zhou G. & Xu X. (2019). Stress effects on meat quality: a mechanistic perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(2), 380-401. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.103>
- Zhang F., de Dear R. & Hancock P. (2019). Effects of moderate thermal environments on cognitive performance: A multidisciplinary review. *Applied energy*, 236, 760-777. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.005>

CAPITULO 4. SENSORIAL ANALYSIS OF LAMB MEAT ENRICHED WITH FATTY ACID BLEND IN THE DIET

Blanca Isabel Sanchez-Toledano¹, Marco Andrés López-Santiago^{2*}, Jorge Alonso Maldonado-Jáquez³, Lorenzo Danilo Granados-Rivera⁴, Karim Antonio Carreón Negrete² and Juan José Figueroa-González¹

¹Campo Experimental Zacatecas-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México; ²Universidad Autónoma Chapingo-Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México; ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias- Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila, México; ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental General Terán, General Terán, Nuevo León, México.

Corresponding Author: Universidad Autónoma Chapingo-Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México. C.P.35230. Email: marcoandres@chapingo.urzu.edu.mx

4.1 ABSTRACT

The aim of the present study was to evaluate the sensory preference of the consumption of sheep meat fed with growing levels of fatty acids (0, 50 y 100 g of a FA blend) in the fattening process. The sensory analysis was carried out through a trained panel and the information was analyzed through multivariate techniques. The attributes were modified by the effect of the feeding, the treatment with the highest amount of FA in the diet was the one that stood out. Using the Just-About-Right (JAR) scale, panelists expressed that residual taste, flavor, tenderness and fatiness were the attributes with the greatest influence on product acceptability.

Keywords: Feeding innovations, livestock sector, multivariate techniques, sensorial preference.

Revista: Future Foods

Estatus: En revisión

4.2 INTRODUCTION

Sheep production in Mexico is mainly for meat production and only 40% of the national demand is produced with an average annual growth rate of 2.28% among 1970 to 2019 (Bobadilla-Soto et al., 2021). In 2023, sheep or goat fresh, chilled or frozen meat importation were from Australia, New Zealand, United States of America and Chile (Data Mexico, 2024). Lamb meat consumption is closely linked to the consumption of Barbacoa, a deeply rooted traditional dish prepared in most of the central states of the country (Hernández-Marín et al., 2017). According to official data the per capita consumption of lamb meat in Mexico is 1 kg per person per year (Ronquillo et al., 2018). In this regard, this meat type has 17% protein, its flavor and aroma are distinctive due to the type of fatty acids that make up the fat inside and on the muscle fibers. Therefore, it provides essential fatty acids and amino acids for human nutrition. For this reason, sheep meat has received attention from consumers (Linares et al., 2013). However, the meat market is highly competitive, particularly high-value products such as lamb (Alanís et al., 2022) and in recent years products such as specialized cuts and sausages are emerging as an attempt to reach new markets (Calao-Iglecias et al., 2023). This causes the purchase decision to weigh attributes differently compared to meat for daily consumption such as chicken, beef or pork (Battagin et al., 2021). In the purchasing decision, the consumer values traits and attributes of a product such as cost, availability, family habits, perception of the product, place where it is produced, safety, among other aspects. By studying these characteristics, it is possible to determine consumer behavior and with this information, it is possible to improve production methods (Rabadán et al., 2020). Likewise, product differentiation is a key element to ensure the viability of the production system. Differentiation opens up a business opportunity for those producers who are able to distinguish their product from the rest of their competitors.

Given this situation, the livestock sector must bet on innovation as a method of growth and as a strategy to engage new consumers (Hernández-Marín et al., 2017). On the other hand, feed is the highest cost of production in livestock

systems (Bautista-Martínez et al., 2020), so the search for more efficient feeding strategies are key to the success of farms. In this regard, the use of fatty acid blends in lamb feeding has been shown to be an effective strategy in sheep production, improving lamb weight gain and increasing carcass yield (Behan et al., 2021). However, there is no link describing whether this improvement in the production system will be beneficial for consumer acceptance. Therefore, the aim was to evaluate the sensory acceptability of meat consumption from sheep fed increasing levels of fatty acids in the fattening process.

4.3 MATERIALS AND METHODS

4.3.1 Field Experiment

The experiment was carried out in Experimental field from Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas- Universidad Autónoma Chapingo in Bermejillo, Mapimí, Durango, México. It is located at 25° 52'28'' LN y 103° 37'07'' LO at 1119 masl with an average rainfall of 200 mm and an average temperature of 21 °C (Medina et al., 2005).

The animals were handled according to the Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999. This official standard refers to the technical specifications for the production, care, and use of laboratory animals in order to maintain the well-being of the animals in the experiment development. Also, they were handled according to the Federal animal health law that governs on the Estados Unidos Mexicanos (Mexico) (SENASICA, 2024).

Twenty-one Dorper lambs were chosen with an age of 45 ± 9.46 days and an average live weight (LW) of 14.03 ± 2.92 kg. The animals were confined into an adaptation pen where they were fed with a diet based on triticale and alfalfa for 15 days, they were also offered fresh and clean ad libitum water. When entering the adaptation pen, initial weight was recorded and the animals were given sanitary management of deworming, vaccination, and vitaminized. After the

adaptation process, the weight of every animal was taken and divided into three groups to be translated to experimental pens.

4.3.2 Treatments and experimental design

The lambs were assigned into three groups homogeneous in age and live weight under a completely randomized design with seven repetitions per treatment: Control Group (T0; n=7) with an average weight of 13.81 ± 2.23 kg and 45 ± 7.6 days of age; Group 50 (T50; n=7) with 14.10 ± 1.46 kg of weight and 45 ± 10.7 days of age; and Group 100 (T100; n=7) with 14.24 ± 4.11 kg of weight and 44 ± 10.1 days of age. The experimental phase had a duration of 13 weeks from March 6th 2023. A whole-food diet with 60-40 concentrate-to-fodder ratio was offered. The food was offered at 5% of the live weight and was adjusted weekly or when the rejection was below 10% of the offered. Since the 7th week, a fatty acids (FA) blend was added (LactoMil®, Oleofinos, Jalisco, México), which had 82% of fatty acids (palmitic acid), 9.6% calcium salts and 3.5% of humidity. The blend of fatty acids was gradually added until reaching the total doses groups G50 and G100 which corresponds to an offered of 50 and 100 g of the mixture of FA, respectively.

4.3.3 Meat sampling for sensory analysis

At the completion of 13 weeks of fattening (June 3, 2023), the animals were slaughtered according to NOM-033-Z00-1995 (Humane slaughter of domestic and wild animals). The lambs were slaughtered at a 35.65 ± 7.21 kg mean live weight. The left *longissimus thoracis et lumborum* muscle was removed from the tenth rib in a caudal direction in each carcass 24 h *post mortem* and cut at 2 cm thickness. Samples were vacuum-packed, matured at 2 ± 2 °C for seven days, frozen at -18 ± 2 °C and transported to the sensory analysis laboratory of Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agícolas y Pecuarias- Experimental field Zacatecas (INIFAP Zacatecas) at a temperature of 1° C for sensory evaluation. Prior to the sensory study, the samples were thawed overnight (24 h) at 4.0 °C, cooked only with salt and pepper in a pressure cooker for 50 minutes. Samples of each treatment were divided into portions of approximately 20 g, and were

individually wrapped in coded aluminum foil and kept at a constant temperature until consumption.

4.3.4 Sensory Analysis

The study was conducted at the Sensory Analysis Laboratory of INIFAP-C.E. Zacatecas (22° 54' LN, 102° 39' LO; altitude 2,197 masl). The facility has 12 tasting booths in accordance with ISO-22000 protocol. This provided an atmosphere that allows a functional and objective analysis of the study.

The experiment was applied to a trained panel. The formation of the panel was done in three stages: 1. Pre-selection: In this stage 30 people with the ability to detect some sensory properties were selected. In different sessions, they were trained and educated in the discipline of sensory analysis, evaluating various products periodically in order to identify organoleptic and sensorial characteristics. For this, the suggested methodology was followed in rule (UE) No 1169/2011 of the European parliament.

2. Panelists selection: a total of 25 people with olfactory-gustatory sensitivity and able to identify subtle differences between foods and evaluate them objectively were recruited.

3. Specific training: the panelists were trained and instructed to perform the organoleptic analysis of the samples of lamb meat enriched with fatty acids.

The role of the panel of expert tasters is fundamental for analyzing which products are the most accepted on the market, and therefore the most chosen by consumers (Bagiani, 2020). A panel of expert tasters constitutes a crucial tool to guide companies' decision making in a quick and efficient way.

Once the trained panel was calibrated, the 25 trained tasters (aged 22 to 65 years; 13 women and 12 men) evaluated a total of three samples in two sessions. The evaluation consisted of two phases: one for visual attributes (appearance, color, odor) and the other for tasting attributes (flavor, texture, tenderness, firmness,

juiciness, fattiness and residual taste). The panelists evaluated the acceptability of the three treatments in a blinded condition. Samples were presented in a monodic manner, following a balanced complete block design to avoid bias due to the effect of the order of sample presentation (Di Monaco et al., 2004). They also rinsed their mouths with mineral water and ate unsalted bread between samples. Samples were identified with three-digit random numbers and presented to the judges along with evaluation sheets. Panelists were asked not to eat, drink, smoke or take any oral products one hour before tasting. Each panelist rated acceptability using a nine-point Likert scale ranging from extraordinarily bad (1) to extraordinarily good (9) in relation to the parameters of appearance, color, odor, texture, and juiciness. In a second step, a fair scale (JAR) was applied for the characteristics of flavor, tenderness, fattiness and residual taste. One way to assess the optimal characteristics of a product is to ask consumers whether they consider a sensory attribute to be too strong, weak or "just-right" (JAR) (Lawless & Heymann, 2010). For this purpose, the following terms were used in the scale: 1: much less than expected, 2: a little less than expected, 3: just as expected, 4: a little more than expected, 5: much more than expected.

The questionnaire was validated and approved by an ethical committee of social sciences. It was conducted according to the principles established in the Helsinki Declaration, with special care on protecting personal information required by Mexican standards. The panelists signed a consent form which was read aloud.

4.3.5 Statistical Analysis

Before analyzing the data, the panelists' hedonic scores were standardized to normalize the data. The data were analyzed with a Completely Randomized Model and Internal Preference Map (CRPM). Internal preference maps report which products are preferred by panelists and allow identifying panelists with similar preferences (Guinard et al., 2001). These differences have led van Kleef et al. (2006) to claim that internal preference maps are suitable for marketing studies (e.g. communication, product positioning, consumer segmentation).

Subsequently, the multivariate technique of correspondence analysis (CA) was applied to determine the possible simultaneous association between the treatments and the attributes evaluated (Hair et al., 1998). The information was analyzed in the SPSS 27.0 statistical system for Windows (IBM, 2022) and in the statistical analysis system (SAS ver. 9.4 2002-2010, Cary, NC, USA) (Ferrán-Aranaz, 2001).

The effect of the sensory attributes evaluated on the average acceptability was determined by a penalty analysis. The effect of the proportion of fatty acids on the acceptability of lamb meat was studied through the response surface model generated in the statistical package STATGRAPHICS Centurion.

4.4 RESULTS AND DISCUSSION

4.4.1 Sensory analysis without information on fatty acid-enriched lamb meat

In the sensory experience, for the trained panel, the most important attributes were color, flavor, odor and toughness, whose mean values on the hedonic scale were 3.7 (Figure 1). Color is a key attribute in meat marketing, since it is the first quality characteristic observed by the consumer as an indicator of freshness and wholesomeness of the product (Glitsch, 2000). Meat color is mainly determined by myoglobin and hemoglobin content, as well as the oxidation state of these pigments in muscle fibers (Rébak et al., 2012). Pearson and Dutson (1994) mentioned that the sensory quality of meat is the appropriate combination of the attributes of tenderness, juiciness, flavor and color. This sensory quality is influenced by factors such as specie, breed, age, *ante mortem* animal handling and *post mortem* handling of the carcasses during storage, intrinsic characteristics of the muscles and connective tissue, the intensity of *post mortem* proteolysis in muscle cells and the cooking meat temperature.

Attributes such as juiciness (3.5), tenderness (3.4), appearance (3.4) and texture (3.4) were moderately liked. Tenderness can be defined as the meat's ability to be cut and chewed, it is the most important acceptance attribute and a primary

determinant of meat quality (Miller, 2002). Meat juiciness plays a very important role in the consumer's taste impression. Juices contain important components that contribute to the fragmentation and tenderness of meat during chewing. Intramuscular lipids and water are the main sources of meat juiciness, constituting an aqueous substrate that is released when meat is chewed. Miller et al. (1995) mentioned that the absence of juiciness severely limits acceptability.

In contrast, the mean values of residual grade (3.1) and fattiness (2.9) tended to be slightly palatable (Figure 1). Fat is the most variable component, its content depending largely on the cut consumed and the degree of fatness of the animal. Although in general terms, lamb meat has little intramuscular fat (marbling), since most of the lamb fat is located on the outside, which facilitates its elimination prior to consumption (Scerra et al., 2011).

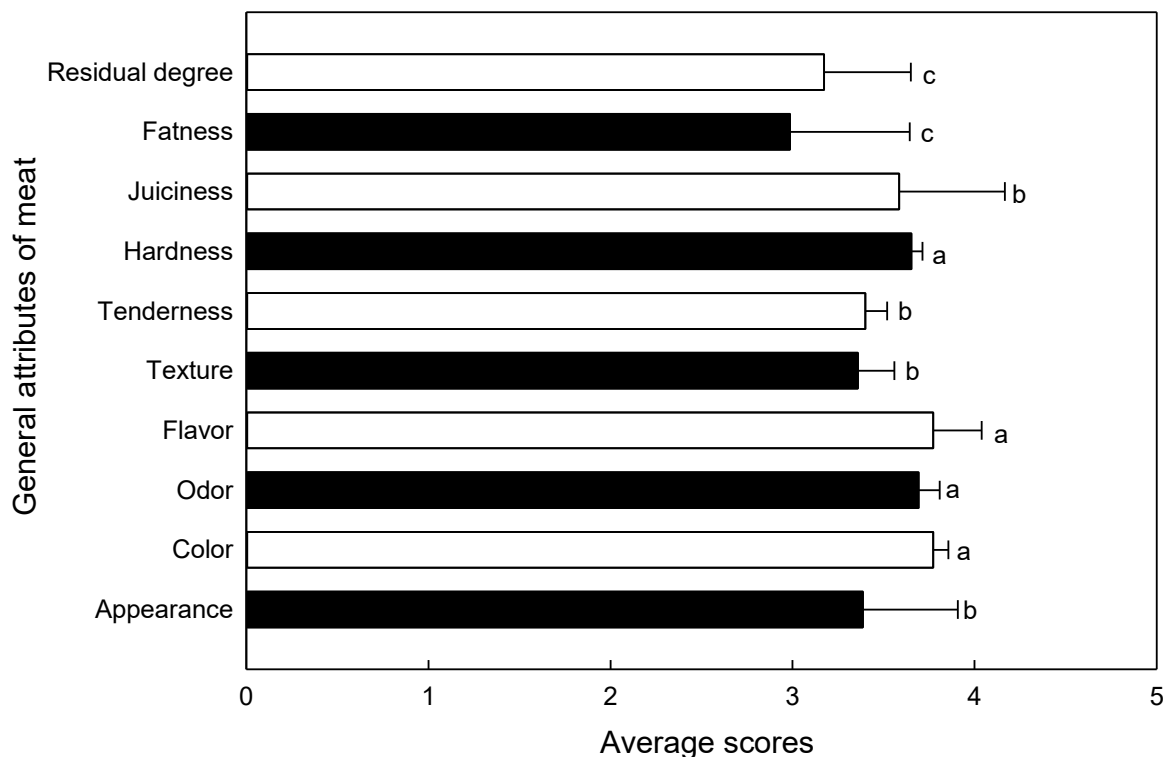


Figure 1: Average hedonic scores for fatty acid-enriched meat attributes. † 1 = do not like at all, 2 = do not like, 3 = neither like nor dislike, 4 = like, 5 = like very much. a,b,c Statistical differences between attributes at 95 % (Tukey).

4.4.2 Acceptance of the fatty acid-enriched lamb meat

The treatment with the best acceptance by the panelists was, on average, the lamb meat that passed T100. This was followed by the meat of the control group (T0) and T50 (Table 1).

Table 1: Panelists' acceptance toward fatty acid-enriched meat treatments.

Treatments	n*	Preference†	Acceptance of the consumer (%)		
			Like	Neither like nor dislike	Does not like
Control	25	7.56 ^{ab}	8.8	24.0	67.2
T ₅₀	25	6.68 ^b	36.3	28.3	35.4
T ₁₀₀	25	8.00 ^a	56.0	29.6	14.4

*Size of the sample; 1= I extremely dislike it, 2 = I dislike it a lot, 3= I moderately dislike, 4= I barely dislike, 5= Neither like nor dislike, 6= I like it a little, 7= I moderately like it, 8= I like it a lot, 9= I extremely like it; a,b,c Statistical differences between the panelists at 95% (Tukey).

Figure 2 shows the internal preferences map of the treatments, control group, and panelists. The first two factors accounted for 100% of the variance explained (63.3%, 36.7% on the first and second axes, respectively). Every panelist is represented on the map, by a red dot, which corresponds to the end of the vector. The vector can be obtained by drawing a straight line to join the end of the vector with the origin of the coordinates. Gremhoff and Macfie (1994) suggest to only represent the end of the vector to avoid saturation of the map. The length of the vector depends on the R² of the model and indicates the precision with which the individual's preference is explained by the dimensions represented graphically (XLSTAT, 2007). The vector indicates the direction of increasing preference of a given consumer on the map.

The results showed that the panelists were not equitably distributed along the quadrants of the map, which reflects the existence of heterogeneous preferences. Notwithstanding, most (90%) of the panelists are located on Quadrant II (Figure 2) in the direction of the T100 treatment where intrinsic and extrinsic attributes are better valued. The aforementioned, despite the factor the Control group was located on Quadrant I, where intrinsic and extrinsic attributes were well valued.

On the opposite, the T50 treatment was located in Quadrant IV (Figure 2) where intrinsic attributes were better valued. Meat enriched with fatty acids had sensory advantages, which indicates that producers could differentiate meat in the market through diet modification.

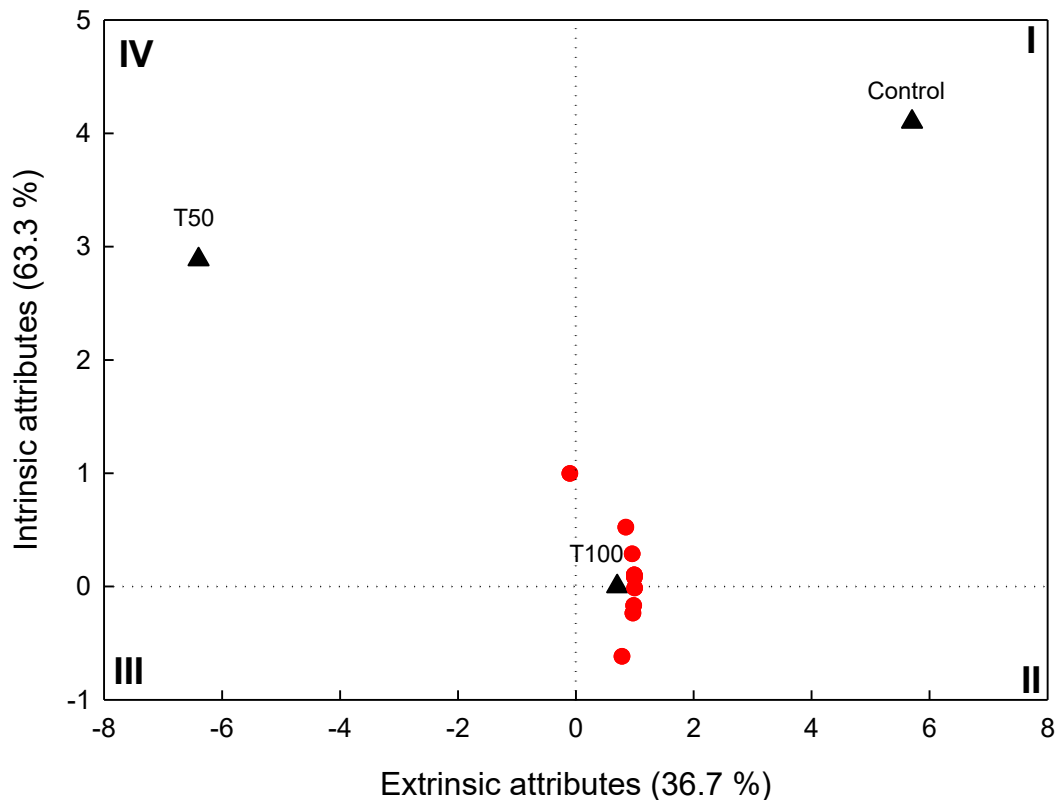


Figure 2: Map of internal preferences based on the treatments of lamb meat enriched with fatty acids.

Multivariate correspondence analysis indicated dependence ($\chi^2 = 3681$; $p < 0.0001$) between treated meat and the intrinsic and extrinsic attributes evaluated. The analysis indicated that the first two dimensions accumulated 99.9 % of the total inertia (Figure 3). Attributes such as color, hardness, tenderness and texture appeared not to be associated with any treatment (Quadrant I, Figure 3). The attributes odor and flavor were associated with the T50 treatment (Quadrant II, Figure 3). In contrast, appearance and juiciness tended to be associated with the control (Quadrant III, Figure 3). Fatness and residual taste tended to be better associated with meat from sheep exposed to the T100

treatment (Quadrants IV, Figure 3). This study is consistent with other research conducted on fatty acid-enriched pork where there was a reduction in panelists' perception of flavor, juiciness and tenderness (Dunshea et al., 2005).

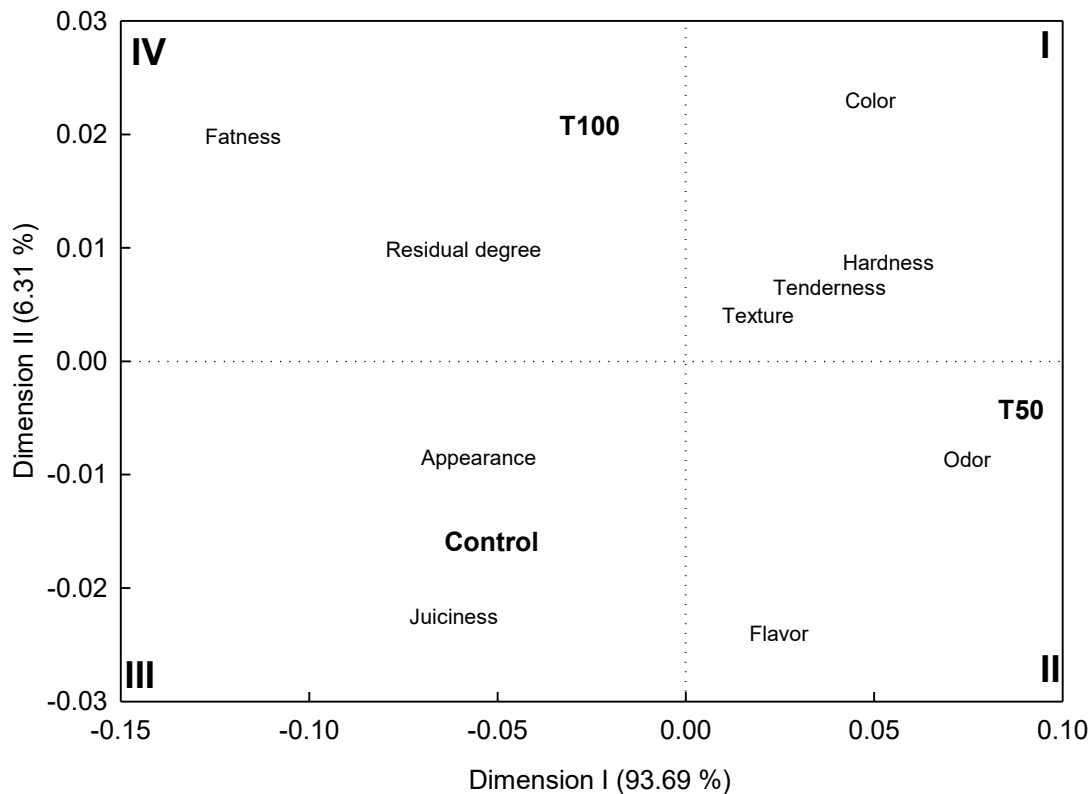


Figure 3 : Bidimensional average positioning of attributes and treatments rated by the panelists.

Consumers are increasingly oriented to prefer healthier and more nutritious foods that benefit their health, but are still palatable (Annett et al., 2008). In this study, the panelists did not have information on the health effects of using fatty acids in meat, so they were perhaps guided by hedonic aspects. Vermeir and Verbeke, (2008) mentioned that the food choice process is the result of a complex set of interrelated subjective and environmental factors. Choice is also related to conscious aspects as well as to individual, automatic, habitual and subconscious motivations. The former are related to sensory characteristics, health properties and price, as well as to consumer characteristics such as social and economic status. The estimated effects of the simplex centroid design of the fat and protein

components were analyzed, applying the acceptability of lamb meat to judges. It was observed that this model adequately explained the experimental data ($p < 0.05$). The model allowed predicting the acceptability of lamb meat as a function of fatty acid ratio, including non-experimental regions but within the limits of the design:

$$\text{Acceptability} = 85.8205 - 0.157778 \cdot \text{Fat} - 7.38916 \cdot \text{Protein} + 0.000962233 \cdot \text{Fat}^2 + 0.00378585 \cdot \text{Fat} \cdot \text{Protein} + 0.172372 \cdot \text{Protein}^2.$$

Figure 4 shows the response surface of the quadratic polynomial model obtained for the acceptability of lamb meat as a function of the type and proportion of fatty acids. The optimum value for acceptability was 9 and the fatty acid treatment was T100 with 22.25% protein.

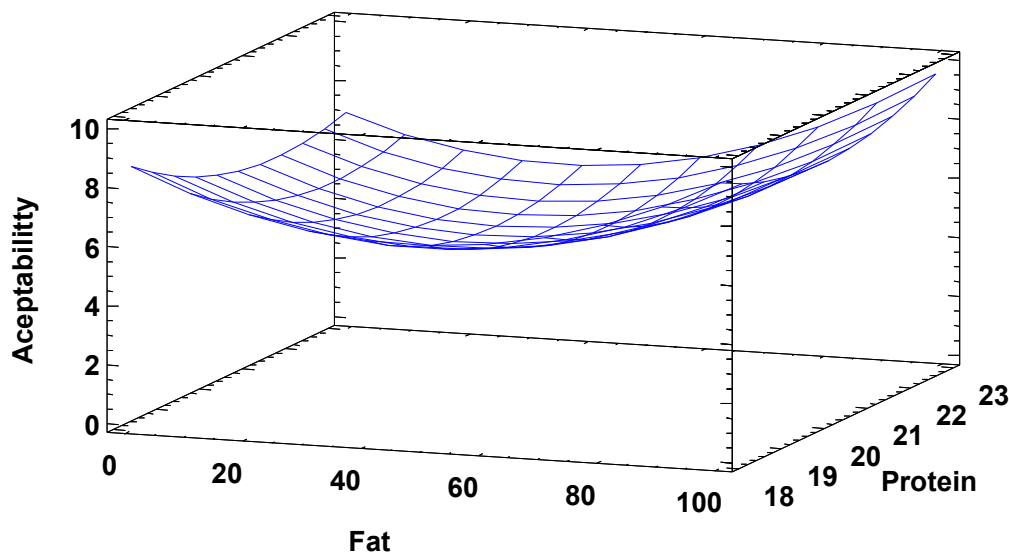


Figure 4: Response surface of the effect of grade acid concentration on the acceptability of lamb meat.

The results of the JAR test used to evaluate the influence of the attributes flavor, tenderness, fattiness and residual taste on the acceptability of the different levels of fatty acids are shown in Figure 5. The control had a greater effect on residual taste and tenderness, while T50 reflected its effect on residual taste, flavor,

tenderness and less fattiness. On the other hand, in the T100 treatment, qualities with a greater effect on acceptability were observed in residual taste, flavor, tenderness and fattiness, a behavior reflected by its location in the graphs on the upper right and attributable to the greater presence of fatty acids.

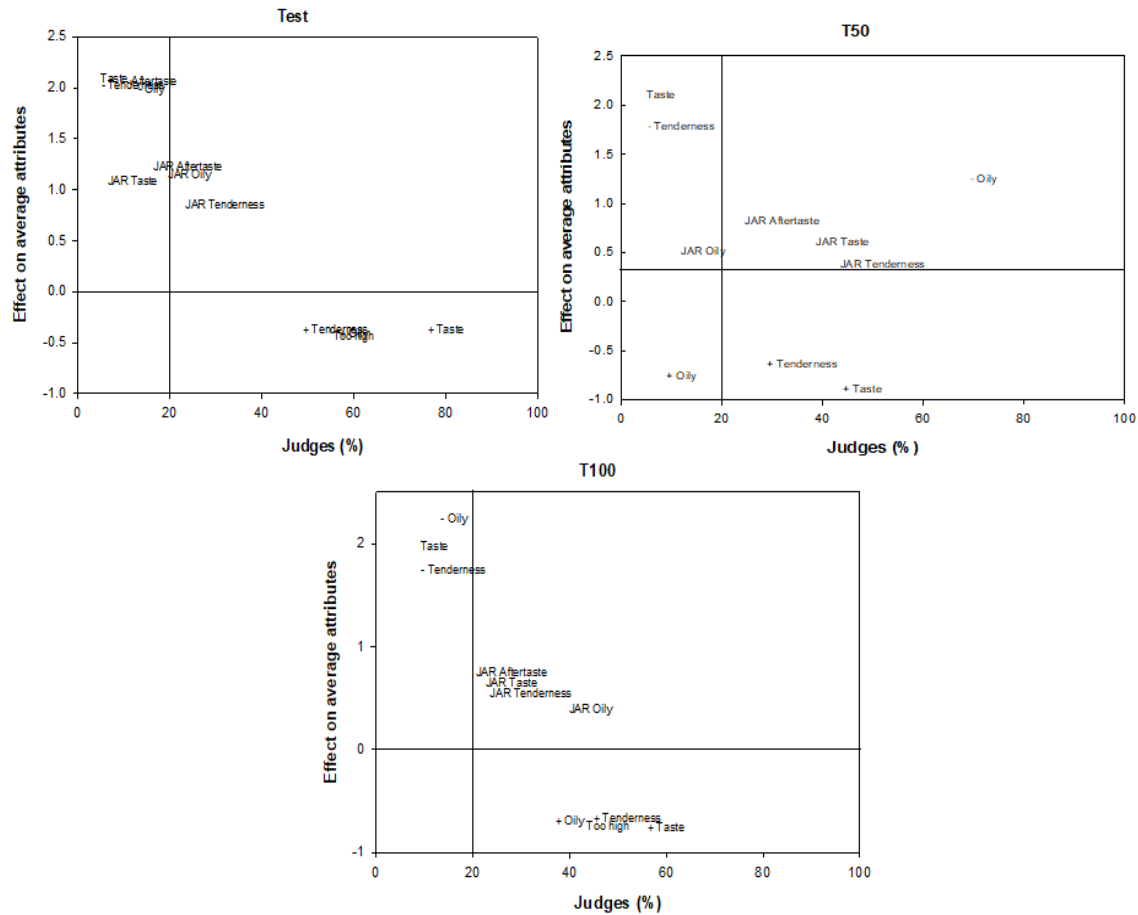


Figure 5: Effect of sensory attributes on fatty acid acceptability, measured with JAR (Just-About-Right) scale for each fatty acid level, reducing the scale from 5 to 3 points.

4.5 CONCLUSIONS

The lamb meat presented a level of acceptance dependent on the proportion of fatty acids. Sensory analysis of lamb meat enriched with fatty acids indicated that the most important attributes determining the acceptance of lamb meat were

color, flavor, odor and toughness. The attributes were modified by the effect of feeding; the treatment with the highest amount of FA in the diet was the one that stood out. Using the JAR scale, the panelists expressed that residual taste, flavor, tenderness and fatness were the attributes with the greatest influence on product acceptability.

Thus, from a business perspective, these results generate an opportunity for the product with these analyzed attributes. Therefore, it is recommended to analyze different marketing strategies (promotion, place and price) in order to position the product in the market.

This research represents the first approach to consumer acceptance of fatty acid-fed sheep meat. The field of study was limited to a specific geographic area and, therefore, extrapolation of this study should be taken with caution until this study is extended to a statistically representative number of consumers of this meat type.

4.6 REFERENCES

- Alanís P.J., Miranda-de la Lama G.C, Mariezcurrena-Berasain M.A., Barbabosa-Pliego A., Rayas-Amor A.A., Estévez-Moreno L.X. (2022). Sheep meat consumers in Mexico: Understanding their perceptions, habits, preferences and market segments, *Meat Science*, 184: 108705. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108705>.
- Annett, E., Muralidharan, V., Boxall, C., Cash, B. & Wismer, V. (2008). Influence of health and environmental information on hedonic evaluation of organic and conventional bread. *Journal of Food Science*, 73(4), H50-H57. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00723.x>.
- Battagin HV, Panea B, Trindade MA. (2021). Study on the Lamb Meat Consumer Behavior in Brazil. *Foods*. 10(8):1713. <https://doi.org/10.3390/foods10081713>
- Bautista-Martínez Y., Hernández-Mendo O., Crosby-Galván M.M., Joaquín-Cancino S., Ruiz-Albarrán M., Salinas-Chavira J., Granados-Rivera L.D. (2020). Physicochemical characteristics and fatty acid profile of beef in Northeastern Mexico: grazing vs feedlot systems, *CyTA - Journal of Food*, 18:1, 147-152. 10.1080/19476337.2020.1725644

- Behan AA, Akhtar MT, Loh TC, Fakurazi S, Kaka U, Muhamad A, Samsudin AA. (2021). Meat Quality, Fatty Acid Content and NMR Metabolic Profile of Dorper Sheep Supplemented with Bypass Fats. *Foods*. 10(5):1133. <https://doi.org/10.3390/foods10051133>
- Bobadilla-Soto, E. E., Ochoa-Ambriz, F., & Perea-Peña, M. (2021). Lamb production and consumption dynamic in Mexico from 1970 to 2019. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 963–982. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.44473>
- Calao-Iglesiás, G., Muñoz-Osorio, G. A., & Chay-Canul, A. J. (2023). Carne de ovejas de desecho para embutidos. *Bioagrociencias*, 16(2). <http://doi.org/10.56369/BAC.5225>
- Data México. Secretaría de Economía. (03 de julio de 2024). Carne de Animales de las Especies Ovina o Caprina, Fresca, Refrigerada o Congelada <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/meat-of-ovine-and-caprine-animals-fresh-chilled-or-frozen>.
- Di Monaco, R., Cavella, S. Di Marzo & Masi, P. (2004). The effect of expectations generated by brand name on the acceptability of dried semolina pasta. *Food Quality and Preference*, 15, 429-437. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2003.07.003>.
- Dunshea, F.R., D'Souza, D.N., Pethick, D.W., Harper, G.S. & Warner, R.D. (2005). Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Science*, 71:8-38. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.05.001>
- Ferrán-Aranaz, M. (2001). SPSS para Windows. Análisis estadístico. México: McGraw-Hill. IBM Corporation. 2022. SPSS software. <https://www.ibm.com/mx-es/analytics/spss-statisticssoftware>.
- Glitsch, K. (2000). Consumer perceptions of fresh meat quality cross-national comparison. *British Food Journal*, 102, 177-194. <https://doi.org/10.1108/00070700010332278>
- Greenhoff, K., MacFie, H.J.H. (1994). Preference mapping in practice. In: MacFie, H.J.H., Thomson, D.M.H. (eds). *Measurement of Food Preferences*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2171-6_6
- Guinard, J., Uotani, B. y Schlich, P. (2001). Internal and external mapping of preferences for commercial lager beers: comparison of hedonic ratings by consumers blind versus with knowledge of brand and price. *Food Quality and Preference*, 12, 243-255. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00011-8)

- Hair, J., Anderson, E., Tatham, R. & Black, W. (1998). Multivariate Data Analysis. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey, USA.
- Hernández-Marín JA, Valencia-Posadas M., Ruiz-Nieto JE, Mireles-Arriaga AI, Cortez-Romero C, Gallegos-Sánchez J. (2017). Contribución de la ovinocultura al sector pecuario de México. *Agroproductividad*. 10(3):87-93.
- Lawless, H. & Heymann, H. (Eds). (2010). Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices. Food Science Text Series; Second Edi.; Springer: New York, NY, USA.
- Linares M, Lindon W. & Gallo C. (2013). Perfil de ácidos grasos de carne de ovino y caballo criados bajo un sistema de producción extensiva. *Rev Investig Vet* 2013;24(3):257-263.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rivep/v24n3/a01v24n3.pdf>
- Medina, G., Díaz, P., López, H., Ruiz, C. y Marín, S. (2005). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango (Periodo 1961 - 2003). Libro Técnico Nº 1. Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOC-INIFAP; 2005.
- Miller M. F, L. C. Hoover, K. D. Cook, Guerra A. L., Huffman K. L., Tinney K. S., Ramsey C. B., Brittin H. C. y Huffman L. M. (1995). Consumer acceptability of beef steak tenderness in the home and restaurant. *Journal of Food Science*. 60(5):964. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb06271.x>
- Miller, R. K. (2002). Factors affecting the quality of raw meat. In J.P. Kerry, J.F. Kerry, & D. Ledward. *Meat Processing Improving Quality*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2002: 27-63.
<https://doi.org/10.1533/9781855736665.1.27>
- Pearson, A.M. y T. R. Dutson. (1994). Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products, 1st edition. Blackie Academic & Professional, New York.
- Rabadán A, Martínez-Carrasco L, Brugarolas M, Navarro-Rodríguez de Vera C, Sayas-Barberá E, Bernabéu R. (2020). Differences in Consumer Preferences for Lamb Meat before and during the Economic Crisis in Spain. *Analysis and Perspectives. Foods*. 9(6):696.
<https://doi.org/10.3390/foods9060696>
- Rébak, G. I., Ynsaurralde, A. E., Capellari, A., Prester, N., & Vázquez, L. (2012). Calidad de carne de novillos 3/8 Braford producidos en Chaco, Argentina. *Revista veterinaria*, 23(2), 95-99.
<https://doi.org/10.30972/vet.2321785>

- Ronquillo, J. C. C., Hernández, J. E. H., Espino-Barros, O. A. V., Guerra, F. J. F., & Becerra, C. A. C. (2018). Análisis económico de la engorda de ovinos en una granja integral en el estado de Puebla, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 42(2018), 819-827. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/12090>
- Scerra M., Caparra, P., Foti, F., Cilione, C., Zappia, G., Motta, C., Scerra, V. (2011). Intramuscular fatty acid composition of lambs fed diets containing alternative protein sources. *Meat Science* 87: 229-233.
- SENASICA. 2024. Ley Federal de Sanidad Animal. <https://www.gob.mx/senasica> (Accessed March 2024).
- Van Kleef, E., Van Trijp, H. C., & Luning, P. (2006). Internal versus external preference analysis: An exploratory study on end-user evaluation. *Food quality and preference*, 17(5), 387-399. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.05.001>
- Vermeir, I. & Verbeke, W. (2008). Sustainable food consumption among young adults in Belgium: Theory of planned behaviour and the role of confidence and values. *Ecological economics*, 64(3), 542-553. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.007>.
- XLSTAT (2007). User's guide. Addinsoft, New York (EEUU).