



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO, FERMENTACIÓN RUMINAL Y CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON ACEITES ESENCIALES Y MALATO DE CALCIO

MARIA ANGELICA ORTIZ HEREDIA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **Comportamiento productivo, fermentación ruminal y características de la carne de corderos suplementados con aceites esenciales y malato de calcio**, realizada por la estudiante: **Maria Angelica Ortiz Heredia**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)


Dr. José Ricardo Bárcena Gama

CO-DIRECTOR (A)


Dr. Pedro Arturo Martínez Hernández

ASESOR (A)


Dr. Juan De Dios Guerrero Rodríguez

ASESOR (A)


Dr. Sergio Segundo González Muñoz

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, junio de 2022

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO, FERMENTACIÓN RUMINAL Y CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON ACEITES ESENCIALES Y MALATO DE CALCIO

María Angelica Ortiz Heredia, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2022.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la suplementación de una mezcla de aceites esenciales (AE), malato cálcico (MC) y su combinación (AE+MC) a dietas de corderos de engorda sobre el comportamiento productivo, características de la canal, propiedades físico-químicas de la carne, degradabilidad ruminal de la materia seca, fracciones de fibra, y producción de biogás *in vitro*. Se realizaron tres experimentos. En el primero se utilizaron cuarenta corderos DorsetxHamshire de 20 ± 3 kg y cuatro meses de edad, que fueron distribuidos aleatoriamente en cuatro tratamientos: dieta basal (DB) sin aditivos; DB complementada con 150 g t^{-1} de AE; DB con 2.5 kg t^{-1} de MC; y DB con AE+MC a las dosis usadas individualmente, para medir el desempeño productivo. Para determinar las características de la canal y de la carne solo fueron sacrificados treinta y seis corderos. En el segundo experimento, un diseño experimental de cuadro latino replicado 4×4 con cuatro ovejas adultas y los cuatro tratamientos descritos previamente, se determinó la desaparición *in situ* de la materia seca (DMS), fibra detergente neutro (DFDN) y fibra detergente ácido (DFDA) durante 3, 6, 9, 12, 24 y 48 h. Se hizo un muestreo de fluido ruminal y se determinó el pH, la concentración de ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal. El tercer experimento de determinó la producción *in vitro* de metano (CH_4) y bióxido de carbono (CO_2) de las cuatro dietas experimentales. El desempeño productivo no fue afectado por los aditivos. La digestibilidad aparente de la MS fue reducida ($P < 0.05$) con la inclusión de MC. El peso de la canal fría, rendimiento de la canal caliente y fría fueron mayores ($P < 0.05$) en los corderos tratados con AE vs. MC. El rendimiento de la canal caliente tendió ($P = 0.08$) a ser mayor en el tratamiento AE vs. DB. El contenido del ácido graso C20: 5 n-3 en el grupo AE+MC fue mayor ($P < 0.05$) que en el grupo AE, aunque similar a los demás tratamientos. La carne del grupo AE+MC tuvo mayor contenido total de ácidos grasos ω_3 ($P < 0.05$) que los grupos AE o MC, pero similar al grupo DB. La proporción de ácidos grasos poliinsaturados y ácidos grasos saturados no fue diferente ($P > 0.05$) entre tratamientos. El color de la carne no fue afectado ($P < 0.05$) por los tratamientos. La fuerza de corte de la carne cocida fue menor ($P < 0.05$) en el tratamiento EA que en DB y MC. La DFDN fue mayor ($P < 0.05$) a las tres horas de incubación en la dieta con AE, mientras que la degradabilidad efectiva de la fracción potencialmente degradable de la MS fue mayor ($P < 0.05$) en la dieta con AE comparada con las dietas con MC o AE+MC, pero similar ($P > 0.05$) a la DB. La dieta con AE redujo ($P < 0.05$) producción *in vitro* de CH_4 e incrementó ($P < 0.05$) la de CO_2 . Los AE, MC, o AE+MC no afectan el desempeño productivo, aunque los AE mejoran las características de la canal, suavidad y concentración de ácidos grasos insaturados en la carne, degradabilidad efectiva de la materia seca y reducen la producción de CH_4 *in vitro*.

Palabras clave: aditivos, fermentación ruminal, canal, carne, metano

PERFORMANCE, RUMEN FERMENTATION, AND MEAT QUALITY OF LAMBS SUPPLEMENTED WITH ESSENTIAL OILS AND CALCIUM MALATE

Maria Angelica Ortiz Heredia, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2022.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of the supplementation of a mixture of essential oils (EO), calcium malate (CM,) and their combination (EO+CM) to diets of fattening lambs on performance, carcass characteristics, physical-chemical meat traits, ruminal degradability of both dry matter (DM) and fiber fractions, and *in vitro* biogas production. Three experiments were carried out. In the first one, forty commercial crossbred lambs (20 ± 3 kg) four-month-old were used, and they were randomly distributed in four treatments: basal diet (BD) without additives; BD supplemented with 150 g t^{-1} of EO; DB with 2.5 kg t^{-1} of CM; and BD with EO+CM at the doses used individually, to measure the performance. To determine the carcass and meat characteristics, only thirty-six lambs were slaughtered. The second experiment, a 4×4 replicated Latin square experimental design, with four ewes and the four treatments previously described, was used to determine the *in situ* disappearance of DM (DDM), neutral detergent fiber (DNDF), acid detergent fiber (DADF) at 3, 6, 9, 12, 24 and 48 h. Ruminal fluid was sampled and pH, concentration of volatile fatty acids, and ammoniacal nitrogen were determined. The third experiment determined the *in vitro* production of methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2) of the four experimental diets. The performance was not affected by the additives. The apparent DM digestibility was reduced ($P < 0.05$) with CM inclusion. Cold carcass weight, hot and cold carcass yield were higher ($P < 0.05$) in EO-treated lambs vs. CM. Hot carcass yield tended ($P = 0.08$) to be higher in EO treatment vs. BD. The fatty acid C20: 5 n-3 content in the EO+CM group was higher ($P < 0.05$) than EO group, although similar to the other treatments. The meat from EO+CM group had a higher content of total ω_3 fatty acids ($P < 0.05$) than the EO or CM groups, but similar to BD group. The proportion of polyunsaturated fatty acids and saturated fatty acids was not different ($P > 0.05$) between treatments. Meat color was not affected ($P > 0.05$) by the treatments. The shear force of cooked meat was lower ($P < 0.05$) in the EO treatment than in BD and CM. The DNDF was higher ($P < 0.05$) at three hours of incubation in the diet with EO, while the effective degradability of the potentially degradable fraction of DM was higher ($P < 0.05$) in the EO diet compared to the CM or EO+CM diets, but similar ($P > 0.05$) to BD. The EO diet reduced ($P < 0.05$) *in vitro* CH_4 production and increased ($P < 0.05$) CO_2 production. The EO, CM, or EO+CM do not modify performance, but EO improve carcass characteristics, tenderness and unsaturated fatty acids concentration in meat, effective degradability of dry matter and reduce *in vitro* CH_4 production.

Key words: additives, ruminal fermentation, carcass, meat, methane.

AGRADECIMIENTOS

Al **Colegio de Postgraduados**, campus Montecillo y al Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad – Ganadería.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por el apoyo económico para poder realizar mis estudios de posgrado y culminar la presente investigación.

Al Dr. José Ricardo Bárcena Gama por su acertada dirección en la investigación, por haber compartido su conocimiento y su valioso tiempo para poder llevar a cabo ésta investigación.

Al Ph. D. Pedro Arturo Martínez Hernández, por su amistad y por haber compartido su conocimiento y su valioso tiempo para poder llevar a cabo ésta investigación.

Al Dr. Juan de Dios Guerrero Rodríguez y al Dr. Sergio S. González Muñiz por sus acertadas observaciones y sugerencias que ayudaron a mejorar y enriquecer esta investigación.

Al Dr. José Guadalupe Herrera Haro y al Dr. Gilberto Aranda Osorio, por sus acertadas observaciones y sugerencias que ayudaron a mejorar y enriquecer esta investigación.

A todos los maestros que integran la comunidad del Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad – Ganadería, que de alguna manera contribuyeron en mi formación compartiendo sus valiosos conocimientos.

Al personal de ganadería por apoyarme durante mi formación y por su disponibilidad de servir.

A la empresa NUTRYPLUS S.A.P.I DE C.V. por el apoyo en aditivos para el desarrollo de esta investigación, en especial a la Ing. Laura Parra Morales y al MVZ Luis Morales García de León.

A mi amigo Yonatan Cabanzo Suarez, por enseñarme que el trabajo en equipo siempre será necesario, por su amistad y apoyo.

Con aprecio a Oscar por todo, por su asesoría, comprensión, consejos y apoyo incondicional en todo momento.

A mis compañeros y amigos del Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad – Ganadería: José Carlos, Alejandro, Keyla, Carlos, Argelia, Jair, Abi, Ángel, Omar y de manera especial a Alonso por su apoyo y amistad.

A Clemente por escuchar cada una de mis inquietudes y dudas, por su apoyo y amistad.

A los doctores Mario A. Cobos, Said Cadena Villegas, por su disposición y ayuda en esta investigación.

A la Ing. Margarita, la Dra. Magda, por su apoyo en el trabajo de laboratorio, y demás personas que contribuyeron a la realización de esta investigación.

Y a cada una de las personas que conocí durante este proceso de formación y que de alguna manera fueron parte del mismo.

Atentamente, Maria Angelica Ortiz Heredia.

DEDICATORIA

A mi hija **Valentina** por su amor, apoyo, confianza y admiración; por quien he logrado mis objetivos, por toda la alegría que me da, porque cada que la veo sonreír sé que ha valido la pena.

A mis padres María del Rocío Heredia Tenorio y Felipe Ortiz Ramos por su esfuerzo, amor, apoyo, confianza y consejos; porque gracias a ellos he logrado cumplir mis objetivos.

A mis hermanos Erika y Andrés por su apoyo y por darle tanta alegría a mi vida.

A mis sobrinos Juan Diego, Jesús Daniel y Yair por formar parte de mi vida y darme tanta alegría.

A mis cuñados Mirella y Miguel Ángel por su apoyo.

A mis familiares más cercanos porque siempre han estado al pendiente de mí, porque me han brindado su apoyo desinteresado.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA	vii
LISTAS DE CUADROS	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Antecedentes	4
Producción mundial de carne ovina.....	4
Consumo de carne ovina per cápita nacional	6
Características de los Rumiantes.....	6
Ecosistema ruminal	6
Fermentación ruminal.....	7
Procesos microbianos.....	7
Bacterias.....	7
Protozoos	10
Hongos.....	11
Arqueas.....	11
Interacciones entre microorganismos	12
Proteína microbiana.....	12
Fermentación ruminal de carbohidratos.....	13
Fermentación ruminal de proteínas	15
Fermentación Ruminal de Lípidos.....	16
Importancia de la dieta sobre la microbiota ruminal	18
Manipulación de la fermentación ruminal.....	19
Manipulación de la dieta.....	19
Manipulación del medio líquido ruminal.....	20
Manipulación de los microorganismos ruminales.....	20
Modificadores de la fermentación ruminal	21

Ionóforos	22
Plantas y extractos de plantas.....	23
Aceites esenciales	24
Ácidos orgánicos o dicarboxílicos.....	27
Malato de sodio.....	28
Carne ovina	29
Importancia del consumo de carne.....	30
Características de la carne.....	30
Calidad de carne	31
Sabor y olor	32
Firmeza	32
Suavidad	32
Jugosidad	33
CAPÍTULO I. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON MALATO DE CALCIO Y ACEITES ESENCIALES	34
1.1 RESUMEN	34
1.2 ABSTRACT	35
1.3 INTRODUCCIÓN	36
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS	38
1.4.1 Corderos.....	38
1.4.2 Dietas experimentales.....	38
1.4.3 Variables productivas.....	40
1.4.4 Digestibilidad total aparente.....	40
1.4.5 Rendimiento y peso de la canal.....	41
1.4.6 Análisis económico	41
1.4.7 Diseño experimental y análisis estadístico	41
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
1.6 CONCLUSIONES	48
CAPÍTULO II. DEGRADABILIDAD <i>IN SITU</i> Y PRODUCCIÓN DE METANO <i>IN VITRO</i> DE UNA DIETA ADICIONADA CON ACEITES ESENCIALES Y MALATO DE CALCIO.	49

2.1 RESUMEN	49
2.2 ABSTRACT	50
2.3 INTRODUCCIÓN	51
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS	53
2.4.1 Animales, dietas y diseño experimental	53
2.4.2 Medición de pH ruminal	54
2.4.3 Degradabilidad <i>in situ</i>	54
2.4.4 Cinética de degradación ruminal	56
2.4.5 Ácidos grasos volátiles (AGV), metano (CH₄), bióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno amoniacal (NH₄)	56
2.4.6 Medición de biogás <i>in vitro</i>	57
2.4.7 Análisis estadístico	58
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
2.6 CONCLUSIONES	66
CAPÍTULO III. CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON ACEITES ESENCIALES Y MALATO DE CALCIO	
3.1 RESUMEN	67
CHARACTERISTICS OF LAMBS SUPPLEMENTED WITH ESSENTIAL OILS AND CALCIUM MALATE	
	68
3.2 ABSTRACT	68
3.3 INTRODUCCIÓN	69
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS	71
3.4.1 Dietas experimentales	71
3.4.2 Sacrificio de los corderos y toma de muestras	72
3.4.3 Temperatura y pH de la carne	73
3.4.4 Composición química de la carne	73
3.4.5 Color de la carne	73
3.4.6 Retención de agua	74
3.4.7 Pérdida de agua por cocción	74
3.4.8 Fuerza de corte	75
3.4.9 Contenido de ácidos grasos en la carne	75

3.4.10 Análisis estadístico	76
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	77
3.5.1 Composición química y pH de la carne	77
3.5.2 Perfil de ácidos grasos.....	78
3.5.3 Resistencia al corte	82
3.5.4 Color de la carne.....	83
3.6 CONCLUSIONES	87
CONCLUSIONES GENERALES	88
LITERATURA CITADA.....	89

LISTAS DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de las principales especies bacterianas del rumen según el tipo de sustrato que fermentan.	9
Cuadro 2. Clasificación de los principales protozoos ruminales con los sustratos de fermentación preferentes.....	11
Cuadro 3. Ingredientes y aporte nutrimental de la dieta basal.	39
Cuadro 4. Variables productivas de corderos finalizados con dietas complementadas con aceites esenciales, malato de calcio o su combinación.	44
Cuadro 5. Características de la canal y peso de rumen de corderos finalizados con dietas adicionadas con aceites esenciales, malato de calcio o su combinación.	46
Cuadro 6. Indicadores económicos del proceso de finalización de corderos alimentados con dietas adicionadas con aceites esenciales, malato de calcio o su combinación	47
Cuadro 7. Ingredientes y aporte nutrimental de la dieta basal.	54
Cuadro 8. Desaparición ruminal y variables de degradación de la materia seca de dietas adicionadas con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.	59
Cuadro 9. Desaparición ruminal y variables de degradación de la fibra detergente neutro (FDN) de dietas adicionadas con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.	61
Cuadro 10. Desaparición ruminal y variables de degradación de la fibra detergente ácido (FDA) de dietas adicionadas con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.	62
Cuadro 11. Contenido de ácidos grasos volátiles (AGV), nitrógeno amoniacal (NH ₃ -N), metano (CH ₄), bióxido de carbono (CO ₂) y pH en liquido ruminal de ovejas adultas alimentadas con dietas adicionadas con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.....	64

Cuadro 12. Producción de metano (CH ₄) y bióxido de carbono (CO ₂) <i>in vitro</i> de dietas adicionadas con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación	65
Cuadro 13. Ingredientes y composición química de la dieta basal.....	72
Cuadro 14. Composición química (g 100 g ⁻¹) y pH de la carne de corderos suplementados con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.	78
Cuadro 15. Composición de ácidos grasos (% del total de ácidos graso) de la carne de corderos suplementados con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación (media ± error estándar).	79
Cuadro 16. Resistencia al corte, capacidad de retención de agua y pérdida de agua por cocción de la carne de corderos suplementados con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.....	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Inventario Ovino en México (Total nacional).	4
Figura 2. Principales países productores de ovino en el mundo.	5
Figura 3. Producción Ovina nacional.....	5
Figura 4. Pasos de la fermentación ruminal de carbohidratos	14
Figura 5. Esquema de la degradación de la proteína en el rumen.....	16
Figura 6. Esquema de la digestión ruminal de los lípidos. C18:0, ácido esteárico; C18:1, ácido oleico; C18:1 trans-11, ácido vaccénico; C18:2, ácido linoleico; C18:2 cis-9, trans-11, ácido ruménico; C18:3, ácido linolénico.	17
Figura 7. Efecto de la monensina (M) en el flujo de iones en <i>Streptococcus bovis</i>	23
Figura 9. Coordenadas CIELab de color (Media±EEM), L*(A), a*(B), b*(C) y croma calculado (C*) (D) de carne de corderos suplementados con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.	85
Figura 10. Ángulo de matiz (Media ± EEM) de carne de corderos suplementados con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.	86

INTRODUCCIÓN GENERAL

La demanda de proteínas de origen animal se incrementa a medida que aumenta la población global, la cual se proyecta supere los 9 mil millones de personas para el 2050 (United Nations, 2019). A pesar de que en países desarrollados el consumo de carne de rumiantes tiende a reducirse por consideraciones medioambientales, el consumo global seguirá creciendo debido a que en varios países como China, India, Rusia, México y Brasil, la población se está convirtiendo en clase media que busca consumir mayor cantidad de carne, leche y queso (Chrilki y Hocquette, 2020).

Los productores dedicados a la finalización de corderos para abasto, consideran que la tasa de crecimiento y el tiempo invertido del nacimiento al peso de venta, determinan la eficiencia productiva y económica de las mismas. En las unidades para finalización de corderos se usan dietas altas en grano (concentrados integrales), para reducir el tiempo de ceba hay riesgo de problemas metabólicos como la acidosis subaguda y cálculos urinarios (Mendoza *et al.*, 2007), que pueden afectar la eficiencia productiva y la económica.

Para prevenir estos desórdenes digestivos y mejorar el funcionamiento del rumen, se usan antibióticos ionóforos que en concentraciones de 20 a 40 ppm en la dieta previenen la acidosis láctica, y disminuyen la producción de metano al redirigir el uso de H₂ hacia la producción de propionato, además reducen la desaminación de aminoácidos incrementando su flujo al intestino delgado (Jouany y Morgavi, 2007). La creciente preocupación pública y científica por la aparición de cepas bacterianas patogénicas para el ser humano resistentes a los antibióticos usados como aditivos en producción pecuaria, originó la restricción de estos aditivos en regiones como la Unión Europea, algunos países de Asia y recientemente en Estados Unidos (Jouany y Morgavi, 2007). Dadas estas restricciones, emerge una oportunidad para el desarrollo de nuevas alternativas no antibióticas que puedan ofrecer los mismos beneficios que los ionóforos.

Los ácidos orgánicos y sus sales, en particular el malato, han sido propuestos como alternativa a los ionóforos para ser utilizados en rumiantes. Al respecto, Carro y Ranilla, (2003) y Martin, (2004) muestran que la adición de malato de calcio (MC) en sistemas de

fermentación *in vitro* favorece el pH ruminal, principalmente entre las 2 y 4 h después de la alimentación (Martin *et al.*, 2004), reduce la producción de metano (CH₄) y la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV), efectos análogos observados con el uso de ionóforos. En otros estudios se observó que el malato puede estimular el crecimiento de *Selenomonas ruminantium* en cultivos puros (Nisbet y Martin, 1994). El lactato puede ser fermentado por *S. ruminantium*, bacteria que representa hasta el 50% del total de bacterias viables dentro de las formadoras de propionato en el rumen (Martin *et al.*, 2004), mejorando así el ambiente ruminal.

Los aceites esenciales (AE), son otra alternativa viable a los antibióticos ionóforos. Los AE son una mezcla de compuestos volátiles y lipofílicos extraídos de plantas, como la canela, orégano, tomillo, eucalipto, romero y otros, a través de destilación (Benchar *et al.*, 2008). Los componentes de los AE (timol, eugenol, carvacrol, citral y cinamaldehído) pueden interactuar con las células de la membrana microbiana e inhibir el crecimiento de algunas bacterias, tanto gram positivas como gram negativas. El resultado de esta inhibición es la reducción de la desanimación de aminoácidos y de la metanogénesis, con el concomitante incremento de la producción de ácido propiónico y butírico (Calsamiglia *et al.*, 2007; Lin *et al.*, 2013), aunque la evidencia de efecto positivo de los AE sobre el pH del rumen no se ha difundido de manera masiva y, por tanto, sobre la prevención de acidosis (Malekkhahi *et al.*, 2015). También se ha reportado que estos aditivos no antibióticos, modificaron la composición química, estabilidad de color, vida de anaquel, suavidad y valor nutricional en lo relacionado con el perfil de ácidos grasos de la carne de corderos (Ortuño *et al.*, 2014; Garcia-Galicia *et al.*, 2020; Haro *et al.*, 2020). La investigación sobre los impactos de la suplementación con MC y AE ha sido extensiva en bovinos productores de carne y leche, pero las evidencias de funcionamiento en ovinos finalizados con dietas altas en grano, es limitada. Conociendo las virtudes y limitaciones de estas dos alternativas, resulta también interesante verificar si la combinación de MC y AE tienen un efecto sinérgico en el ambiente y funcionamiento del rumen.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar el comportamiento productivo, la fermentación ruminal y características de la canal de la carne de corderos

en finalización suplementados con aceites esenciales (AE), malato de calcio (MC) y su combinación en dietas altas en concentrado.

REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes

En México el inventario ovino ascendió a 8.9 millones en el año 2017, el 38% se concentró en las entidades estado de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla. De 2011 al 2017, año en que alcanzó su punto máximo, el crecimiento del inventario registrado fue de 8.3% (Figura 1). Al final del periodo de análisis (2011-2020), el incremento de 6.2%, con un descenso del 2.4% en el año 2018, una recuperación del 0.28% en el 2019 y de 0.20 % para el 2020 (SIAP, 2020).

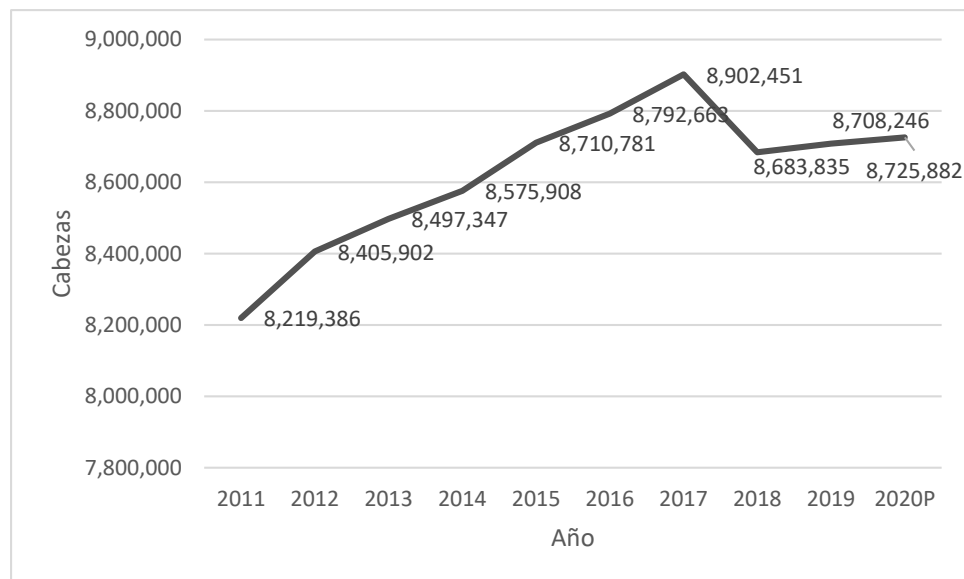


Figura 1. Inventario ovino en México (total nacional).
Fuente: Elaboración propia, con datos del SIAP (2020).

Producción mundial de carne ovina

Según FAOSTAT (2020), el país que más produce carne es China, seguido por Australia, Nueva Zelanda, Argelia y Reino Unido (Figura 2). De acuerdo con COMTRADE (2020) China importa el 82% en la categoría canales y medias canales de ovinos, frescos o refrigerados. En la categoría de carne de borrego Australia y Nueva Zelanda son los principales abastecedores de carne para China.

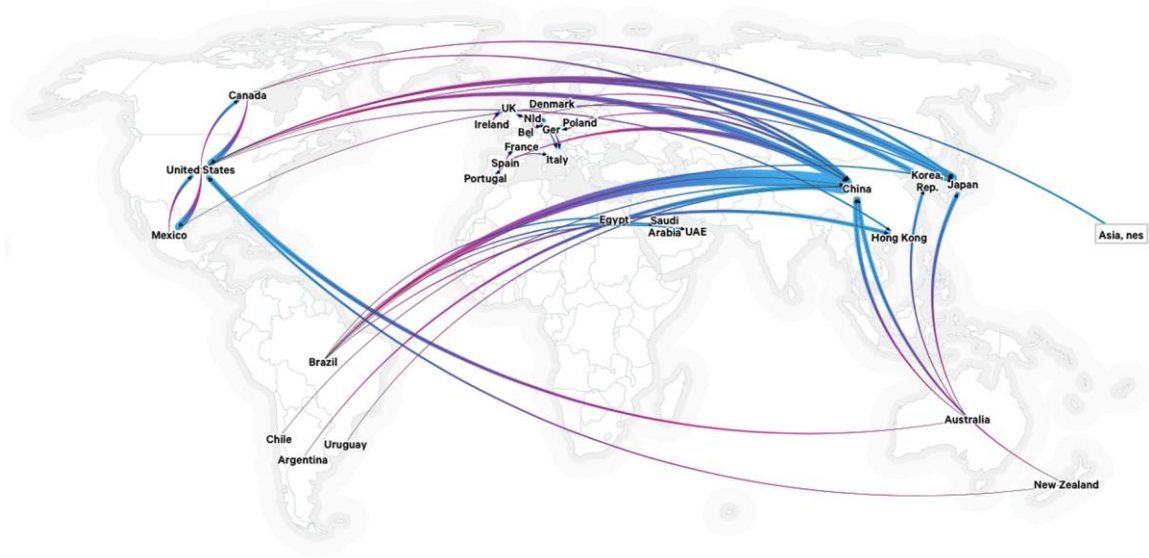


Figura 2. Principales países productores de ovino en el mundo.
Fuente: Elaboración propia, Datos FAOSTAT (2020).

De acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020), la producción ovina a nivel global en el año 2019 logró una producción total de 9, 476,541 toneladas de carne, cantidad a la que México aportó 64,031 toneladas (Figura 3Figura 3), lo que equivale a 0.68% de la producción mundial para ese año. La tendencia de la producción nacional ha sido creciente, en la Figura 3, se observa que del año 2014 al año 2020 la producción incrementó en 11%.

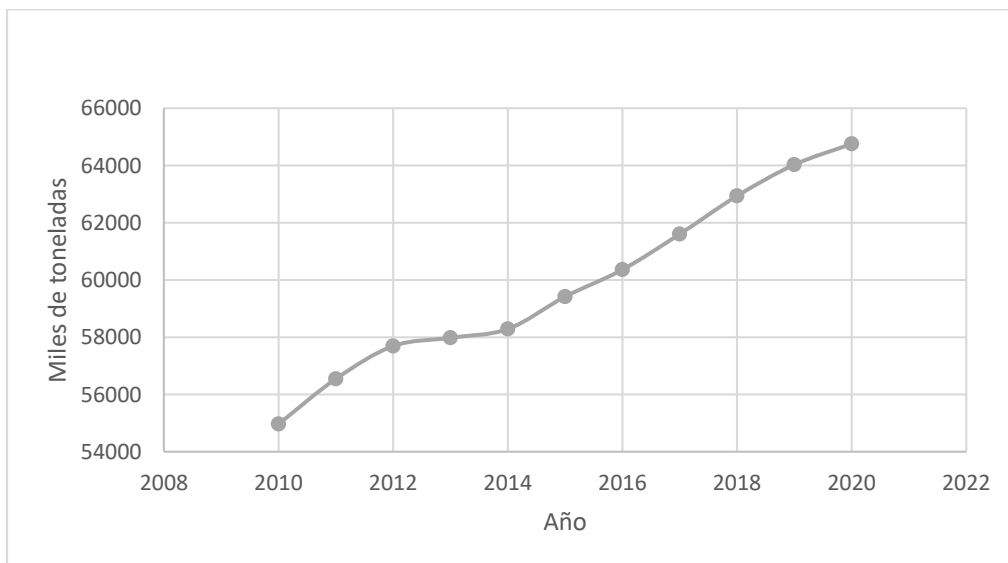


Figura 3. Producción ovina nacional.
Fuente: Elaboración propia, Datos FAOSTAT (2021).

Consumo de carne ovina per cápita nacional

En la producción nacional los principales productores son los estados de México, Hidalgo y Veracruz que aportan el 14.1%, 10.9% y 8.2%, respectivamente del total de la producción (SIAP, 2020). De acuerdo con el Consejo Mexicano de la Carne (2018) indicó que el consumo per cápita de carne ovina en México es de 600 g. Que en contraste con lo reportado Gómez (2011) con un consumo per cápita de 700 g. per cápita aproximadamente, del cual el 70% lo proporciona la producción local, y el resto (30%) es de importación.

Características de los Rumiantes

Los rumiantes se caracterizan por su capacidad para alimentarse de pastos y forrajes, ya que pueden degradar carbohidratos estructurales, como celulosa, hemicelulosa y pectina, muy poco digestibles para los no-rumiantes (Gutiérrez, 2015). Sin embargo, estos animales no poseen enzimas que puedan digerirlos y son los microorganismos presentes en el rumen, tales como bacterias, protozoarios y hongos, quienes fermentan el alimento (Petri *et al.*, 2012). Los rumiantes se distinguen del resto de los animales por convertir alimentos fibrosos y proteínas de baja calidad, incluso el nitrógeno no proteico (NNP), en nutrientes de calidad para los animales, como son la proteína microbiana y los ácidos grasos volátiles (Dewhurst *et al.*, 2000).

Ecosistema ruminal

Los rumiantes presentan particularidades distintivas respecto al resto de los mamíferos, porque el rumen y el retículo, dos de los compartimientos pre-estomacales, se encuentran habitados por una de las más variadas, densas y activas poblaciones microbianas conocidas en la naturaleza (González *et al.*, 2011). La microbiota ruminal comprende una población diversa de microorganismos que incluyen bacterias (más de 50 géneros), Archaea (metanógenos) y Eucarya (25 géneros de protozoos, cinco géneros de hongos) y bacteriófagos (Skillman *et al.*, 2006). Esta microbiota desempeña una función significativa en la degradación del alimento que consumen, ya que ayudan a digerir polisacáridos complejos como la celulosa y hemicelulosa, aprovechar fuentes

de nitrógeno no proteico (NNP), para su conversión en proteína microbiana (Castillo *et al.*, 2017).

Fermentación ruminal

La fermentación ruminal es anaeróbica y se realiza en mayor medida por bacterias. La población microbiana se mantiene al ingerir y masticar alimentos eliminando los ácidos orgánicos producidos, arrastrando los residuos alimenticios no digeribles y manteniendo las condiciones apropiadas de pH, temperatura y humedad para el crecimiento microbiano (Piñeriro-Vázquez *et al.*, 2009). La fermentación en el rumen es el resultado de actividades físicas y microbiológicas que transforman los componentes de la dieta en productos en ácidos grasos volátiles, proteína microbiana, vitaminas, y gases como son CH₄ y CO₂. Los valores de pH y las concentraciones de amonio y de ácidos grasos volátiles en el líquido ruminal pueden determinar la adecuada utilización de los nutrientes de diferentes alimentos (Piñeriro-Vázquez *et al.*, 2015).

El patrón de la fermentación ruminal es definido principalmente por la conformación de la población bacteriana, en el sentido de la producción de AGV's y de otros productos que limitan la eficiencia de la fermentación. Además, de las bacterias en el rumen existen protozoarios y hongos que pueden influir en el patrón de la fermentación ruminal (Ørskov, 1992).

Procesos microbianos

La fermentación del alimento que es ingerido por el rumiante se lleva a cabo en el rumen; no es un órgano glandular, por lo que no secreta enzimas digestivas, de manera que la digestión depende de las enzimas producidas por la microbiota ruminal, bacterias, protozoarios y hongos (Mendoza *et al.*, 2007). Los procesos microbianos del rumen confieren la capacidad de convertir alimentos fibrosos y proteínas de baja calidad, incluso nitrógeno no proteico, en nutrientes valiosos para los rumiantes (Wilkins y Jones, 2000).

Bacterias

La población de bacterias en el rumen fluctúa de 10¹⁰ a 10¹¹ bacterias/g de contenido ruminal (Yokohama y Johnson, 1988), la densidad de bacterias en el rumen se encuentra

en un rango de 10^7 a 10^{10} células/mL de líquido ruminal (Callaway *et al.*, 2010; Danielsson *et al.*, 2017). La mitad de la biomasa ruminal está conformada por bacterias, ya que son las que realizan la fermentación ruminal y su capacidad fermentativa está en relación inversa a su tamaño (Orskov, 1992).

Actualmente estudios recientes que utilizan la secuenciación de ADN de alto rendimiento han reportado la presencia de 13 principales filos en el rumen, que incluyen 40 órdenes bacterianos, alrededor de 80 clases de bacterias, y por lo menos 180 familias bacterianas, unos 320 géneros de bacterias y más de 2,000 unidades taxonómicas bacterianas operativas (Castillo-López, 2014; Petri *et al.*, 2012 *et al.*, 2014). Los filos bacterianos más abundantes son Bacteroidetes y Firmicutes, que incluyen por lo menos el 75 % de la población bacteriana total (Danielsson *et al.*, 2017).

Las bacterias ruminales se clasifican con base en el tipo de sustrato que fermentan, productos formados o requerimientos nutricionales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de las principales especies bacterianas del rumen según el tipo de sustrato que fermentan.

<p>Principales especies celulolíticas <i>Fibrobacter succinogenes</i> <i>Ruminococcus flavefaciens</i> <i>Ruminococcus albus</i> <i>Ruminococcus fibrisolvens</i></p>	<p>Principales especies proteolíticas <i>Ruminobacter amylophilus</i> <i>Prevotella ruminicola</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Streptococcus bovis</i></p>
<p>Principales especies hemicelulolíticas <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Prevotella ruminicola</i> <i>Ruminococcus spp.</i></p>	<p>Principales especies utilizadoras de lípidos <i>Anaerovibrio lipolytica</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Treponema bryantii</i> <i>Eubacterium spp.</i> <i>Fusocillus spp.</i> <i>Micrococcus spp.</i></p>
<p>Principales especies pectinolíticas <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Prevotella ruminicola</i> <i>Lachnospira multiparus</i> <i>Succinivibrio dextrinosolvens</i> <i>Treponema bryantii</i> <i>Streptococcus bovis</i></p>	<p>Principales especies productoras de metano <i>Methanobrevibacter ruminantium</i> <i>Methanobacterium formicicum</i> <i>Methanomicrobium mobile</i></p>
<p>Principales especies amilolíticas <i>Ruminobacter amylophilus</i> <i>Streptococcus bovis</i> <i>Succinomonas amylolytica</i> <i>Prevotella ruminicola</i></p>	<p>Principales especies productoras de amoniaco <i>Prevotella ruminicola</i> <i>Megasphaera elsdenii</i> <i>Selenomonas ruminantium</i></p>
<p>Principales especies utilizadoras de azúcares <i>Lactobacillus ruminus</i> <i>Treponema bryantii</i> <i>Lactobacillus vitulinus</i></p>	<p>Principales especies ureolíticas <i>Succinivibrio dextrinosolvens</i> <i>Selenomonas spp.</i> <i>Prevotella ruminicola</i> <i>Ruminococcus bromii</i> <i>Butyrivibrio spp.</i> <i>Treponema spp.</i></p>

Principales especies utilizadoras de ácidos

Megasphaera elsdenii

Selenomonas ruminantium

Fuente: Adaptado de Yokohama y Johnson (1988).

Por tanto, entre más diversa sea la población microbiana del rumen podrá asegurarse una tasa de fermentación estable con menor presencia de picos en la liberación de productos de la fermentación (Yokohama y Johnson, 1988).

Protozoos

Más de 20 especies de protozoarios se han identificado (Russell, 2002), cuya concentración en el rumen es de aproximadamente 10^6 células/mL. Los protozoarios son físicamente más grandes que las bacterias y pueden constituir aproximadamente la mitad de la biomasa microbiana ruminal total, aunque el número de géneros de protozoarios es menor que el de los de las bacterias (Martin, 1994). Estudios recientes que utilizan la secuenciación del ADN de alto rendimiento han demostrado que los géneros de protozoarios predominantes son Entodinium, Epidinium, Metadinium, Diploplastron, Polyplastron y Diplodinium (Lima *et al.*, 2015).

Los protozoarios (Cuadro 2), son parte de la población microbiana y tienen un papel importante en la fermentación; sin embargo, el beneficio que aportan al rumiante ha sido puesto en duda. Rumiantes defaunados (sin protozoarios) no siempre han registrado una digestibilidad y comportamiento productivo diferente al de rumiantes faunados (con protozoarios). A los protozoarios se les ha identificado como estabilizadores de la fermentación por evitar fluctuaciones amplias, principalmente del pH en los intervalos entre comidas (Orskov, 1992).

Cuadro 2. Clasificación de los principales protozoos ruminales con los sustratos de fermentación preferentes.

Subclase	Género	Sustrato fermentado
<i>Holotrica</i>	<i>Isotrica</i>	Almidón y azúcares
	<i>Dasytrica</i>	Almidón y azúcares
<i>Entodiniomorfa</i>	<i>Entodinium</i>	Almidón
	<i>Epidinium</i>	Almidón y hemicelulosa
	<i>Ophryoscolex</i>	Almidón
	<i>Diplodinium</i>	Celulosa
	<i>Eudiplodinium</i>	Celulosa
	<i>Polyplastron</i>	Celulosa

Fuente: Adaptado de Hungate (1966).

Hongos

Los hongos son pequeños organismos flagelados. En un principio se les clasificó erróneamente como protozoarios flagelados, después se observó que esos flagelados eran zoosporas fúngicas que llegaron a colonizar las superficies de las plantas para producir un micelio (Russell, 2002). El micelio da origen a esporangios que liberan más zoosporas, y el ciclo continúa. Los hongos incrementan su tiempo de residencia adhiriéndose a partículas de alimento. Por este motivo ha sido difícil calcular su biomasa en el contenido ruminal (Russell, 2002).

Los hongos actúan como colonizadores iniciales de la lignocelulosa e incrementan la velocidad a la cual las bacterias digieren la fibra, al alterar las paredes lignificadas de las células de las plantas (Martin, 1994). Estudios recientes que utilizan la secuenciación del ADN han reportado 5 principales filos fúngicos, que incluyen 55 géneros de hongos. Los géneros predominantes son *Ascomycota* (27 %), *Basidiomycota* (3 %) y *Neocallimastigomycota* (1 %) (Kumar, 2015).

Arqueas

La densidad de las arqueas en el rumen no ha sido determinada con precisión, análisis moleculares de ADN han revelado que las Arqueas pertenecen a un dominio diferente que el de las bacterias (Zhou *et al.*, 2017). Estos microorganismos desempeñan una

función especial en la eficiencia alimenticia porque participan en la formación de metano, la cual utiliza dióxido de carbono e hidrógeno (Morgavi *et al.*, 2010). Se han detectado 10 géneros de arqueas en el rumen, y el género más abundante es *Methanobrevibacter*, que representa aproximadamente el 91 %, la secuenciación de ADN de alto rendimiento ha expuesto que el filo arqueal más abundante en el rumen es *Euryarchaeota*, que constituye el 99 % de la población de arqueas ruminales (Zhou *et al.*, 2017).

Uno de los principales objetivos de las prácticas para reducir los gases de efecto invernadero en el ámbito de la ganadería es disminuir la producción de este gas por los rumiantes, debido a que el metano emitido al medio ambiente contribuye al calentamiento global (Hristov *et al.*, 2013).

Interacciones entre microorganismos

Las bacterias, protozoarios y hongos ruminales interactúan dentro del rumen, para maximizar la eficiencia de fermentación de lo ingerido por el rumiante (Van Soest, 1994). Los microorganismos pueden agruparse en los fermentadores de la ingesta y de los productos derivados de la fermentación realizada por las bacterias, evitando que estos productos se acumulen en el rumen y se conviertan en una realimentación negativa, además liberan al ambiente ruminal compuestos promotores del crecimiento de los fermentadores de la ingesta (Orskov, 1992). Una interacción de microorganismos es la de los ácidos grasos volátiles de cadena ramificada, que son producidos por microorganismos amilolíticos y usados por microorganismos celulíticos para sintetizar aminoácidos o ácidos grasos de cadena larga (Orskov, 1992).

Proteína microbiana

Desde hace mucho tiempo se ha reconocido la importancia de la proteína microbiana sobre el estado nutricional de los rumiantes por ser una de las principales fuentes de proteína metabolizable (Martin, 1994). La proteína microbiana sintetizada en el rumen satisface por lo menos el 50 % de los requerimientos de proteína metabolizable para rumiantes en diferentes etapas de producción; las bacterias y protozoarios ruminales aportan la mayoría de la proteína metabolizable que llega al duodeno (Hristov *et al.*, 1996; NRC, 2001).

La proteína microbiana corresponde entre el 50 y 85 % del nitrógeno total de aminoácidos que entra al intestino delgado, bajo la mayoría de las condiciones alimenticias (Castillo-Lopez *et al.*, 2013). A pesar de que hasta un 50 % de la proteína microbiana sintetizada podría degradarse a amoníaco en el rumen, otros estudios sugieren que la proteína microbiana sintetizada en el rumen aporta entre el 40 y el 90 % de la proteína que llega al intestino delgado (Hristov y Broderick 1996).

La aportación relativa de la proteína microbiana que llegan al intestino delgado depende principalmente de la calidad y solubilidad del nitrógeno ingerido, se ha reportado que la concentración de la proteína microbiana en la digesta duodenal de ovinos varía de 130 a 162 mg/g MS (Castillo-Lopez y Domínguez, 2019). Además, los microorganismos ruminales son una fuente importante de otros nutrientes para los rumiantes (Hussein *et al.*, 1995).

Fermentación ruminal de carbohidratos

Los carbohidratos ingeridos por el rumiante son moléculas grandes e insolubles, que deben ser transformadas a moléculas simples de menor tamaño, para que atraviesen la mucosa de la membrana del tracto digestivo y lleguen a sangre (McDonald *et al.*, 2011). Los carbohidratos presentes en plantas que son consumidos por el rumiante, se clasifican en carbohidratos estructurales y no estructurales. Los estructurales son referidos como fibra y no son degradados por las enzimas producidas por la mayoría de los mamíferos. Los rumiantes desarrollaron un proceso digestivo que incorpora la fermentación ruminal que es un producto de la simbiosis con microorganismos capaces de reducir estos carbohidratos estructurales a través de la fermentación de los mismos (Church, 1997). La fermentación ruminal de los carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa) y no estructurales (almidones y azúcares) se inicia con la adhesión y colonización microbiana de la superficie externa de las partículas vegetales ingeridas (McDonald *et al.*, 2011). Estos carbohidratos junto con el nitrógeno no proteico y proteína verdadera del forraje, permiten a los microorganismos incrementarse y producir ácidos grasos volátiles (AGV's) como el acetato y butirato que son precursores hipogénicos y propionato como precursor glucogénico. La tasa de producción de propionato y otros AGV's está directamente relacionada con el consumo del sustrato fermentable donde la

síntesis de propionato es especialmente favorecida por la fermentación de los almidones por las bacterias amilolíticas (Van Soest, 1994).

Algunos almidones presentes en la dieta son capaces de sobrepasar la digestión microbiana, siendo absorbidos en el duodeno. De esta forma, constituyen otra fuente de glucosa para el rumiante, sin embargo, no es suficiente para suplir las necesidades energéticas (Angulo *et al.*, 2005). Los almidones y azúcares simples se fermentan hasta producir propionato, en este proceso no existen pérdidas de carbonos, por lo que el proceso es energéticamente más eficiente que la fermentación de los carbohidratos estructurales que lleva a la formación de acetato (Van Soest, 1994).

En la Figura 4 se muestra de forma simplificada algunos pasos del proceso de la fermentación ruminal de algunos tipos de carbohidratos, en este proceso de fermentación es importante resaltar la formación y posterior liberación al ambiente del metano como consecuencia de la fermentación de carbohidratos estructurales como la celulosa.

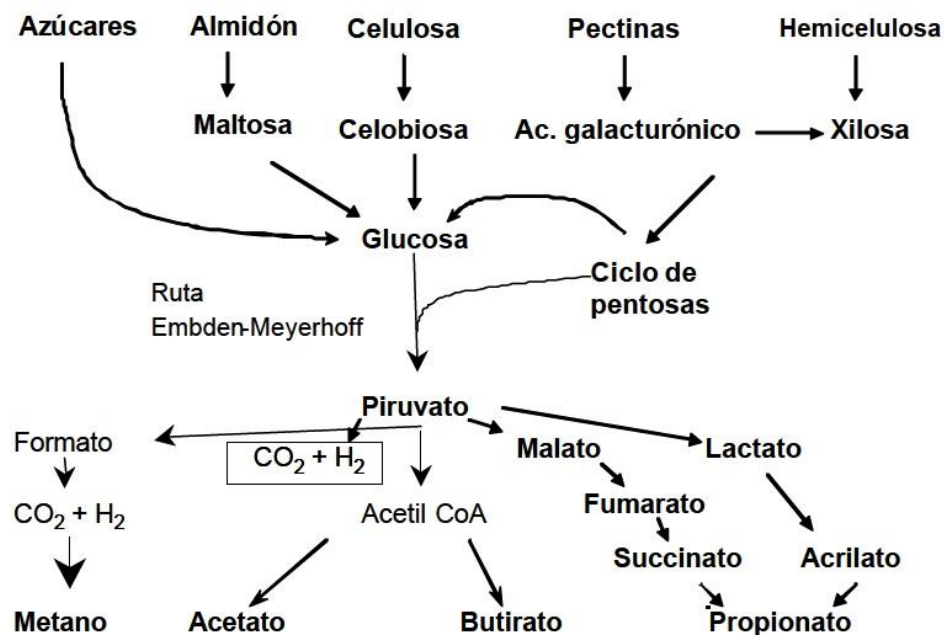


Figura 4. Pasos de la fermentación ruminal de carbohidratos
Fuente: Kay (1994).

Fermentación ruminal de proteínas

Las proteínas provistas en la dieta se dividen en proteína degradable en rumen ((PDR) compuesta por nitrógeno no proteico y proteína verdadera) y proteínas no degradable en rumen (PNDR). La proteína verdadera se degrada a péptidos y aminoácidos (AA) y, eventualmente se desaminan en amoníaco o son utilizadas para la síntesis de proteína microbiana. El nitrógeno no proteico se compone de nitrógeno presente en ADN, ARN, AA, péptidos y amoníaco utilizado para el crecimiento microbiano (Pulido, 2010). Cuando el alimento es ingerido, en el rumen hay una colonización por bacterias, protozoos y hongos ruminales proteolíticos (Nolan, 1993).

Las proteínas están formadas por aminoácidos (AA) unidos mediante enlaces peptídicos entre el grupo carboxílico de un AA y el grupo amino de otro AA, la proteína total comprende tres fracciones: nitrógeno no proteico (NNP), proteína verdadera y nitrógeno no degradable (Van Soest *et al.*, 1994). Existen tres vías de suministro de proteína del rumen; proteína de la dieta, proteína proveniente de la descamación de células epiteliales y el NNP endógeno provenientes de la saliva o a través de la pared ruminal (Nolan *et al.*, 2005). Entre 30 y 50% de los microorganismos ruminales que se adhieren a las partículas de la ingesta tienen actividad proteolítica extracelular, las bacterias son las principales fermentadoras de las proteínas, los protozoos y hongos también desarrollan cierta actividad proteolítica (Broderick *et al.*, 1991).

Las proteasas bacterianas extracelulares peri plasmáticas forman un complejo enzima-sustrato para potencializar su actividad (Wallace *et al.*, 1996). Por tanto, el metabolismo de nitrógeno en el rumen puede ser dividido en dos eventos: la degradación de proteínas (que ofrece fuentes de nitrógeno para las bacterias), y la síntesis de proteína microbiana (Pulido, 2010).

En la Figura 5 se presenta un esquema con los principales pasos en el proceso de la fermentación ruminal de proteínas, en esto se debe resaltar que la fermentación implica llegar a nitrógeno en forma de amina para de ahí iniciar el proceso de síntesis de proteína por bacterias y protozoos.

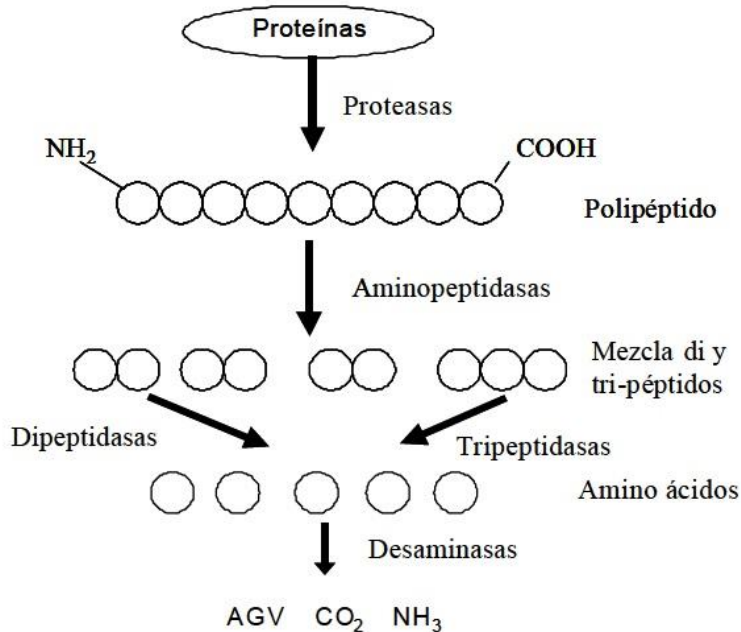


Figura 5. Esquema de la degradación de la proteína en el rumen
Fuente: Wallace *et al.*, (1996).

Los protozoos tienen actividad proteolítica diez veces menor que las bacterias pero son más eficaces degradando proteína insoluble que soluble (Wallace *et al.*, 1991). Los géneros de bacterias con actividad proteolítica se identifican en el Cuadro 1, a estos se agregan *Selonomonas spp.* y *Eubacterias spp.* Estos géneros son proteolíticos, pero no todos usan los productos finales para su crecimiento; por ejemplo, *Ruminobacter amylophylus* degrada la matriz proteica de los gránulos de almidón del endospermo del maíz, pero no usa los péptidos ni los amino ácidos resultantes de la degradación (Bach *et al.*, 2005).

Fermentación Ruminal de Lípidos

Los lípidos presentes en los alimentos tienen dos importantes transformaciones en el rumen: lipólisis y biohidrogenación (Figura 6). La lipólisis se refiere a la liberación por hidrólisis de los ácidos grasos esterificados en los triglicéridos, glicolípidos y fosfolípidos. La biohidrogenación consiste en la reducción de los enlaces dobles existentes en los ácidos grasos liberados (Martínez *et al.*, 2010).

Si los lípidos de la dieta son accesibles a la microbiota del rumen, son hidrolizados rápida y extensamente. La lipólisis libera los ácidos grasos y el glicerol, o la galactosa en el caso de los glicolípidos, con nula o escasa acumulación de mono o diglicéridos (Hawke y Silcock, 1970).

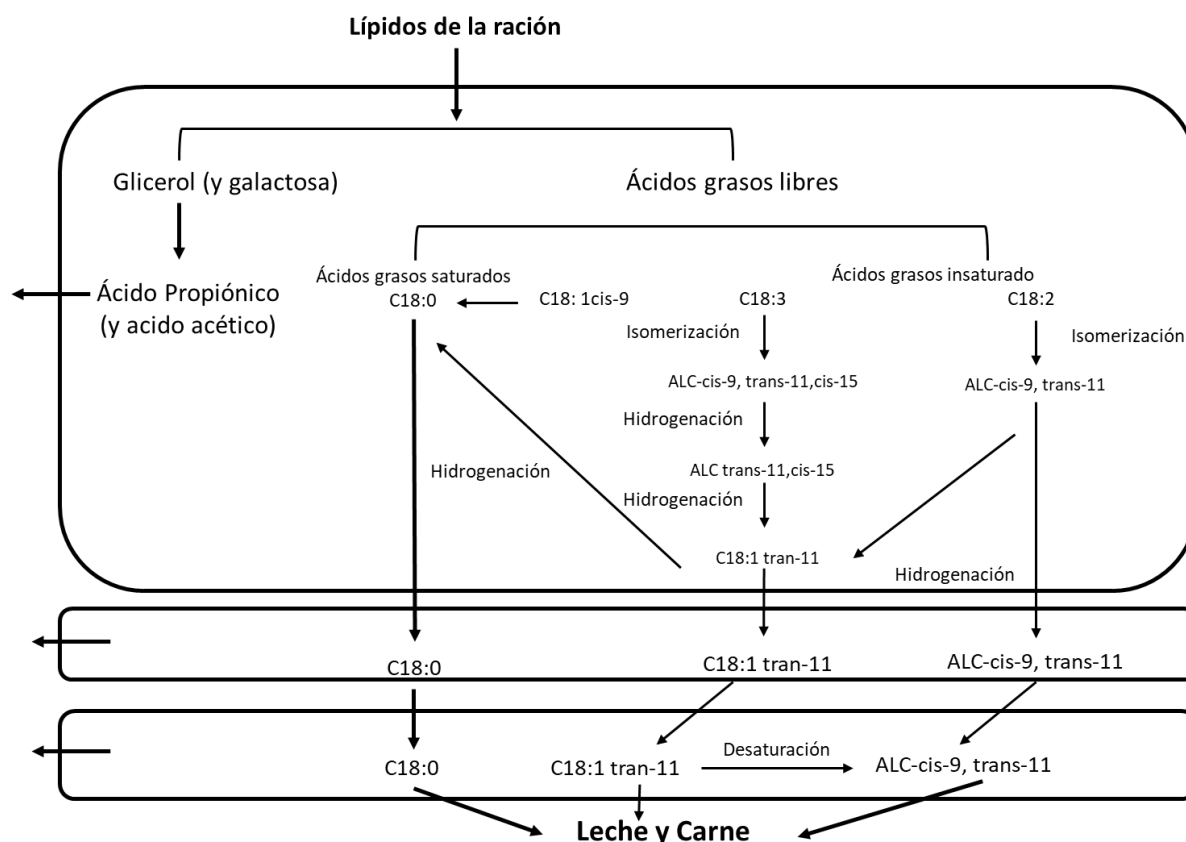


Figura 6. Esquema de la digestión ruminal de los lípidos. C18:0, ácido esteárico; C18:1, ácido oleico; C18:1 trans-11, ácido vaccénico; C18:2, ácido linoleico; C18:2 cis-9, trans-11, ácido ruménico; C18:3, ácido linolénico.

Fuente: Adaptado de Tanaka (2005).

El glicerol y la galactosa libres son rápidamente fermentados el primero mayoritariamente a ácido propiónico mientras que el segundo lo hace a ácido acético. La principal actividad lipolítica es debida a lipasas, galactolipasas y fosfolipasas de origen bacteriano principalmente, pero también protozoario. Las lipasas vegetales son secundarias en relación a las lipasas microbianas, y la lipasa de la saliva de los rumiantes tiene baja actividad (Martínez *et al.*, 2010).

La microbiota del rumen puede sintetizar endógenamente sus lípidos a partir de precursores de cadena corta: ácido acético, propiónico o valérico o a partir de cadenas carbonadas ramificadas, provenientes de la degradación de aminoácidos del mismo tipo (valina, leucina e isoleucina). Estos microorganismos pueden también incorporar AG libres, tanto saturados como insaturados, en el curso de la síntesis celular microbiana. Finalmente, como las bacterias ruminales pueden sustituir propionil CoA y valeril CoA por acetilCoA como punto de partida en la síntesis de AG, los lípidos bacterianos incluyen un contenido significativo de AG de cadena impar (Latrille, 2010). Los efectos negativos de las grasas en las dietas habían sido expuestos, sin embargo, en la actualidad los métodos moleculares han revelado que los microorganismos ruminales que pertenecen a los géneros *Fibrobacter*, *Ruminococcus*, *Butyrivibrio* y *Prevotella* pueden ser muy sensibles a la grasa (Huws, 2014; Enjalbert *et al.*, 2017).

Se ha demostrado que los ácidos grasos insaturados son tóxicos para las bacterias ruminales, especialmente para aquellas que digieren la fibra. Esta toxicidad podría deberse a un impedimento de la digestión de los nutrientes debido a que los ácidos grasos se adhieren a la pared celular (Huws, 2014). Por tanto, una de las principales acciones de algunos géneros bacterianos ruminales es la biohidrogenación de los ácidos grasos para minimizar los impactos negativos de los ácidos grasos insaturados en el crecimiento microbiano. Se han reportado efectos perjudiciales de la grasa alimentaria en los protozoarios ruminales, hongos y arqueas cuando el alimento contiene aceite de linaza o de soya (Huws, 2014).

Importancia de la dieta sobre la microbiota ruminal

La dieta es el factor más determinante sobre el tipo y las proporciones de las poblaciones microbianas, por lo que determina el perfil de fermentación ruminal (Yokohama y Johnson, 1988). Las diferencias son evidentes entre dietas altas en forraje y las ricas en almidón. Las dietas altas en forraje favorecen el establecimiento de una microbiota fibrolítica, donde predominan bacterias del género *Butyrivibrio* spp., mientras que, en dietas ricas en almidón con bajos niveles de fibra, la concentración bacteriana es mayor, con poblaciones amilolíticas donde predominan bacterias del tipo selenomonas, peptostreptococci y lactobacilli (Mc Allister *et al.*, 1996). Estas dietas suelen tener altas

velocidades de digestión y de producción de ácidos, por lo que el medio se acidifica y se reducen las poblaciones celulolíticas y metanogénicas que son más sensibles al pH ácido (Van Soest, 1994). Ante un cambio de dieta, la población microbiana tiene que adaptarse hacia un nuevo equilibrio. El mayor riesgo se produce al introducir grandes cantidades de almidón en animales que reciben una dieta alta en forraje, por su efecto sobre las bacterias que producen y utilizan ácido láctico, por un descenso en el pH; las bacterias utilizadoras de ácido láctico desaparecen y las amilolíticas son sustituidas por bacterias productoras de ácido láctico, provocando un descenso de pH más grave y por ello problemas metabólicos como la acidosis láctica (Mc Allister *et al.*, 1996).

Manipulación de la fermentación ruminal

La producción óptima del rumiante sólo puede lograrse cuando la fermentación microbiana ruminal y la síntesis de proteína microbiana en el rumen son adecuadas. Una ración equilibrada para los microorganismos resultará en una eficiencia máxima; pero si falta algún nutriente, el crecimiento microbiano no será óptimo y disminuirá la cantidad de proteína que llegue al intestino delgado (Stokes *et al.*, 1991).

Los factores que pueden afectar la fermentación ruminal, la síntesis de proteína microbiana y los factores que controlan su balance, están ligados a la fisiología de las especies (máxima velocidad de crecimiento, afinidad por el sustrato, energía metabólica, resistencia a pH ácidos, entre otras) (Dewhurst *et al.*, 2000). También, depende del hospedero y su alimento (composición de la dieta, frecuencia de la alimentación, cantidad ingerida, uso de aditivos en el alimento, etc.) y de la naturaleza de las relaciones establecidas entre las diferentes poblaciones (Dewhurst *et al.*, 2000).

Manipulación de la dieta

La disponibilidad de energía y proteína para las bacterias son los factores más limitantes para la síntesis de proteína microbiana en el rumen (Martin, 1994). Los microorganismos ruminales requieren de manera simultánea energía (ATP) y nitrógeno (en forma de amoníaco, péptidos y AA) para su crecimiento, por lo que un aporte sincronizado de energía fermentable y proteína se traduce en una mejor utilización de los nutrientes en el rumen y un mayor flujo de proteína microbiana al duodeno (NRC, 2001). Existen

tratamientos físicos y químicos que han permitido modificar la fermentación de los nutrientes de la dieta con el fin de aumentar o disminuir la disponibilidad de nutrientes en el rumen y en el intestino delgado, entre los métodos físicos aplicados a los alimentos están el triturado, aplastado, extrusionado, partido, molido, peletizado, entre otros; el uso de calor y la hidratación, el uso de sustancias químicas como el formaldehído, taninos y amonio, estarían dentro de los procesos físico-químicos (Nocek y Tamminga, 1991).

Manipulación del medio líquido ruminal

La modificación de las variables físico-químicas del rumen permite manipular la fermentación ruminal. Por ejemplo, la digestibilidad de la fibra se ve reducida cuando el pH ruminal es igual o menor a 6.0 (Ørskov y McDonald, 1979). Las bacterias celulolíticas (*Bacteroides succinogenes*, *Ruminococcus flavefaciens*, *R. albus*, y *Butyrivibrio fibrosolvens*) son muy sensibles a la reducción del pH ruminal; sin embargo, las bacterias amilolíticas (*Bacteroides amylophilus*, *Streptococcus bovis*, *Succinomonas amylolytica*, *Bacteroides rumenicola*) son mucho más resistentes a dicha reducción de pH (Russell, 2002). La reducción del pH ruminal afecta al metabolismo del rumen, a la velocidad de crecimiento microbiano, a la producción y proporción de AGVs y a la degradación de la fibra y la proteína (Calsamiglia, 2007).

Manipulación de los microorganismos ruminales

Una de las estrategias para manipular la fermentación ruminal consiste en modificar la población microbiana para suprimir procesos no deseados, como la pérdida de energía en forma de metano o CO₂ y de proteína en forma de amonio (Czerkawski, 1976). Se han estudiado los efectos de los protozoarios ruminales; el impacto de la presencia o ausencia de protozoarios en el rumen está en función del tipo de dieta y de los protozoarios predominantes (Nagaraja *et al.*, 1992).

La defaunación de protozoarios ruminales resultó en un descenso en la degradación de la proteína y la concentración de péptidos y AA en el rumen (Ivan *et al.*, 2000). Igualmente, los protozoos fagocitan bacterias como fuente principal de nitrógeno y la ausencia de éstos incrementa el número de bacterias y la producción de AGV's totales en el rumen e incrementa el flujo de proteína bacteriana (Qin *et al.*, 2012).

El empleo de probióticos (cultivos simples o mezclados de microorganismos vivos), puede estimular el crecimiento de algunos grupos bacterianos, algunos estudios señalan que los probióticos pueden eliminar oxígeno del medio ruminal, equilibrando el pH y estimulando el crecimiento bacteriano ruminal (Callaway, 1997).

El uso de algunos ácidos orgánicos en dietas para rumiantes también puede ejercer efectos positivos sobre la actividad de los microorganismos ruminales (Carro *et al.*, 2003). La adición de fumarato y malato estimularon el crecimiento de *Selonomonas ruminantium* en condiciones *in vitro*, dichas bacterias pueden utilizar ácido láctico como fuente de energía y producir mayoritariamente propionato por la vía del succinato (Nisbet y Martín, 1991). El uso de fumarato y malato en las raciones de los rumiantes podría disminuir las concentraciones de ácido láctico en el rumen y así evitar los descensos de pH (Callaway y Martin, 1997).

La utilización de monensina (antibiótico ionóforo carboxílico) ha permitido manipular la fermentación ruminal. Su capacidad de introducirse entre la bicapa lipídica de los microorganismos le permite actuar como transportador transmembrana, intercambiando cationes monovalentes del líquido citoplasmático con el medio extracelular provocando la disminución del pH citoplasmático y la pérdida del gradiente electroquímico de la membrana (Bergen y Bates, 1984).

Modificadores de la fermentación ruminal

Los modificadores de la fermentación ruminal son un tipo de aditivos que se agregan a la dieta, los aditivos en la alimentación animal son usados para alcanzar diferentes mejoras, entre ellas incrementar la palatabilidad de las materias primas y concentrados, prevenir ciertas enfermedades, modificar y optimizar la utilización de los nutrientes en el rumen, o estimular la síntesis de proteína microbiana. Bajo el término aditivo se incluyen sustancias tan diversas como las vitaminas, provitaminas, minerales, antioxidantes, emulsionantes, saborizantes, coccidiostáticos y agentes promotores del crecimiento como los antibióticos, prebióticos y enzimas, entre otros (Schneider *et al.*, 1988). Dentro del grupo de los aditivos antibióticos están aquellos que se utilizan como promotores del

crecimiento (APC), y que también son denominados "modificadores de la fermentación ruminal" (van Nevel y Demeyer, 1996).

Los APC se clasifican en antibióticos de tipo ionóforos (monensina sódica, lasalocida, salinomicina, etc.), y de tipo no ionóforos (tilosina, virginiamicina, espiramicina, flavofosfolipol, y bacitracina de zinc), inhibidores de la producción de metano, estimuladores de la producción de propionato (monensina, avoparcina), estabilizadores del pH, inhibidores de proteasas/desaminasas, y agentes defaunadores, entre otros (Schneider *et al.*, 1988). Los APC contribuyen de modo importante en la productividad de las explotaciones y, por ello, son los más utilizados en alimentación animal (Yang & Russell, 1993).

Ionóforos

Los ionóforos fueron introducidos originariamente en la producción de pollo como un agente anticoccidial en 1971. Desde entonces, han sido utilizados en el alimento de los ruminantes para mejorar la eficiencia de la conversión de alimento de por la regulación de la fermentación ruminal en los productos finales, así como para controlar patologías metabólicas (Rusell, 1987).

Los ionóforos afectan a algunas bacterias ruminales, debido a que interrumpen el intercambio iónico y modifican los gradientes protónicos y catiónicos de la membrana celular. Como respuesta a esta modificación de gradientes, las bacterias inician un bombeo activo de protones al exterior (Figura 7Figura 7) que les permite mantener las concentraciones iónicas y el equilibrio ácido-básico en su interior; sin embargo, estos procedimientos requieren suficiente energía metabólica extra (Rusell, 1987).

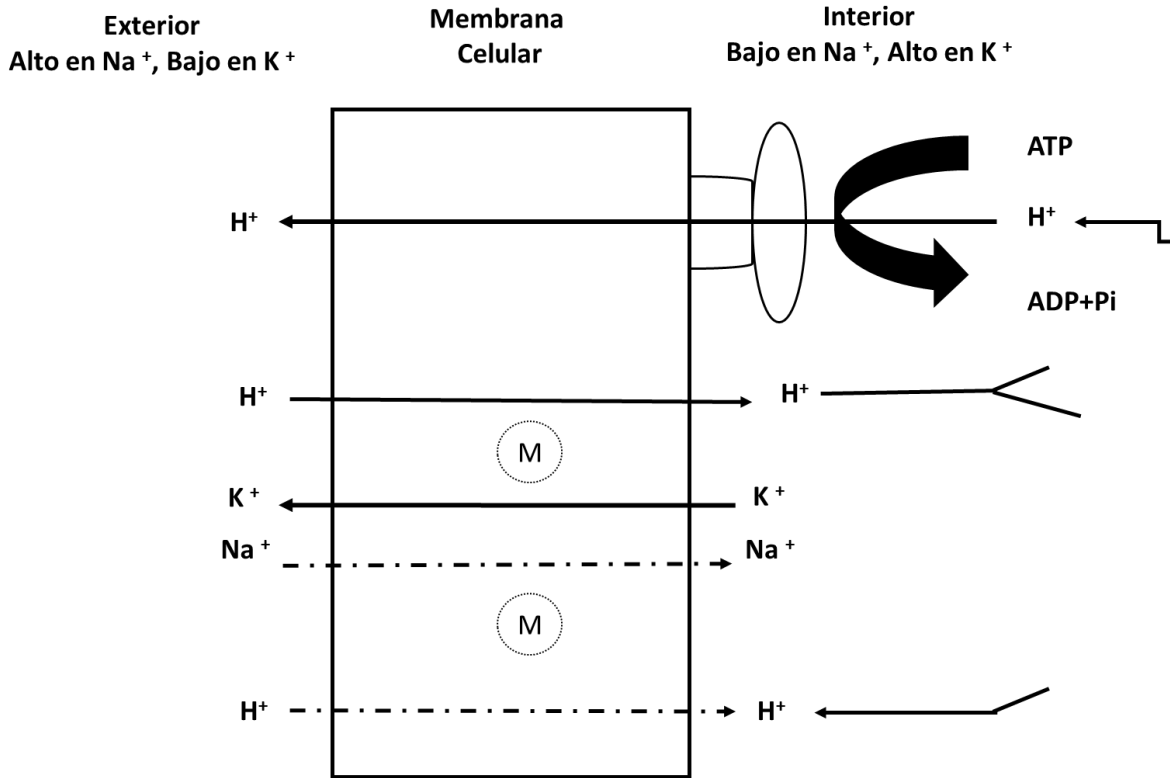


Figura 7. Efecto de la monensina (M) en el flujo de iones en *Streptococcus bovis*
Fuente: Russell (1987).

El uso de ionóforos en la alimentación de rumiantes ha sido uno de los avances biotecnológicos más importantes, debido a que mejoran la eficiencia productiva en forma consistente y efectiva (Rodríguez-Pinos y González-Muñoz, 2000).

Plantas y extractos de plantas

Las plantas producen una gran variedad de compuestos bioactivos y metabolitos secundarios como medio de defensa al ataque de insectos, microorganismos y de adaptación a ambientes adversos (temperatura, humedad, intensidad de luz, sequía, etc.) (Akula y Ramakrishna, 2011).

Durante muchos años estos compuestos se han usado principalmente para la fabricación de medicamentos y preservación de alimentos, algunos de ellos han sido extraídos y concentrados para uso en la alimentación animal por dos propiedades, (1) por su valor aromático como agentes saborizantes en alimentos y (2) por su actividad antimicrobiana y la capacidad de mejorar la digestión de algunos nutrientes (Patra y Saxena, 2010). Sin

embargo, también se ha demostrado que son útiles para manipular algunos procesos metabólicos en los rumiantes y modificar las poblaciones microbianas del rumen permitiendo mejorar la fermentación, el metabolismo del nitrógeno y reducir la producción de metano (Patra y Saxena, 2010; Bodas *et al.*, 2012).

Entre los metabolitos que han demostrado influir en la producción de metano se encuentran: saponinas, taninos, aceites esenciales, ligninas, alcaloides, antioxidantes entre otros (Patra y Saxena, 2010; Medjekal *et al.*, 2017). Los metabolitos secundarios muestran diferentes mecanismos de acción para reducir la metanogénesis, pero de manera general, se asocia con una inhibición en la actividad de las bacterias arqueas metanogénicas, mejorando las reacciones metabólicas (e.g. la fermentación hacia una mayor formación de propionato reduciendo la producción de CH₄), disminuyendo los H₂ disponibles para la producción de metano (e.g. otras fuentes alternativas para la eliminación de H₂) o reduciendo la fermentación ruminal; no obstante, este mecanismo no es de mucho interés ya que resulta en una menor eficiencia de utilización de los alimentos (Bodas *et al.*, 2012).

Existe un gran número de especies de plantas con potencial para disminuir la producción de CH₄ que pueden ser usados ya sea como aditivos alimenticios, suplementos o como alimento para rumiantes. Los principales metabolitos secundarios con propiedades antimetanogénicas se clasifican generalmente en cinco grupos principales: saponinas, taninos, aceites esenciales, compuestos órganosulfurados y flavonoides (Patra y Saxena, 2010).

Aceites esenciales

Los aceites esenciales (AE) son mezclas complejas de metabolitos secundarios volátiles lipofílicos, obtenidos a partir de fracciones volátiles de las plantas por procesos de destilación a vapor (Patra y Saxena, 2010). Estos aceites son específicos de las plantas y son responsables del sabor y fragancia. Puede existir una gran variación en la producción y composición de los aceites esenciales entre plantas de una misma especie y en diferentes partes de una misma planta. Por su parte, la composición de los aceites

varía de acuerdo a la temporada del año y el lugar de origen (Benchaar y Greathead, 2011).

Los AE presentan diversas composiciones químicas, naturales y propiedades biológicas. Los compuestos activos más importantes están incluidos en dos grupos químicos: terpenoides (monoterpenoides y sesquiterpenoides) y fenilpropanoides, estos 2 grupos provienen de diferentes precursores del metabolismo primario y se sintetizan a través de diferentes vías metabólicas (Calsamiglia *et al.*, 2007).

El grupo de metabolitos secundarios más numeroso y diversificado son los terpenoides, los cuales se encuentran en muchas hierbas y especias. Estos compuestos se derivan de una estructura básica de cinco carbonos (C₅H₈), comúnmente llamada una unidad de isopreno y se clasifican en función del número de estas unidades en su esqueleto. Entre los terpenoides, los componentes más importantes de la mayoría de los aceites esencial pertenecen a las familias monoterpenoide y sesquiterpenoides (Calsamiglia *et al.*, 2007; Patra y Saxena, 2010). Por otro lado, los fenilpropanoides a pesar de no ser los compuestos más comunes en los aceites esenciales, algunas plantas los tienen en grandes proporciones, estos compuestos presentan una cadena de tres carbonos unidos a un anillo aromático de seis carbonos. Los fenilpropanoides se derivan principalmente de la fenilalanina (un aminoácido aromático) sintetizado por la vía metabólica del ácido shikímico que sólo funciona en microorganismos y plantas. Los AE se pueden obtener a partir de flores, pétalos, hojas, tallos, frutos, raíces y las concentraciones depende de la etapa de crecimiento y condiciones ambientales (Calsamiglia *et al.*, 2007; Patra y Saxena, 2010).

Los AE presentan una fuerte actividad antimicrobial que inhibe el crecimiento y la supervivencia de la mayoría de microorganismos en especial de bacterias. A pesar de que los AE pueden reducir la metanogénesis ruminal, se cree que esta reducción se produce dependiendo de la dosis en la dieta. Con dosis altas se puede observar una reducción en la producción de metano, pero también se afecta la fermentación ruminal y por lo tanto la formación de otros productos finales (Benchaar y Greathead, 2011; Bodas *et al.*, 2012). Sin embargo, existen algunos AE que han demostrado reducir la metanogénesis entre 20-60% sin afectar la fermentación. Entre los más estudiados

están: timol (tomillo), carvacrol (orégano), eugenol (clavo, canela), cinamaldehído (canela), anetol (anís, hinojo), bayas de enebro y aceite de menta (Calsamiglia *et al.*, 2007; Benchaar y Greathead, 2011; Bodas *et al.*, 2012).

El efecto de los AE sobre los microorganismos ruminales se produce dado su naturaleza lipofílica la cual genera una alta afinidad por las membranas celulares de los microbios en donde los grupos funcionales de los AE interactúan con los componentes de las membranas (Calsamiglia *et al.*, 2007). El resultado de ellos es la alteración del transporte normal de iones (electrones) generando fallas en algunos procesos (e.g. translocación de proteínas, fosforilación, reacciones enzima dependientes); de esta manera, la membrana se altera y las enzimas microbianas son inactivadas, el principal problema es que también se afecta la actividad de algunos microorganismos benéficos para la fermentación (Benchaar y Greathead, 2011). Los AE afectan en mayor proporción a las bacterias Gram-positivas que las Gram-negativas. En general se ha encontrado que los metanógenos ruminales parecen ser afectados por los AE cuando se suministran en altas concentraciones en la dieta (Calsamiglia *et al.*, 2007; Benchaar y Greathead, 2011; Bodas *et al.*, 2012).

La disminución en la producción de metano generada por los AE parece estar mediada por una aparente reducción de los metanógenos y los microorganismos productores de hidrógeno (Patra y Saxena, 2010). También se ha observado una inhibición en bacterias productoras de amonio y otras bacterias poco deseables, lo que permite modular favorablemente la fermentación ruminal incrementado las concentraciones de ácidos grasos volátiles y reduciendo la producción de metano y amonio ruminal (Patra y Saxena, 2010). La mayoría de los resultados que se han obtenido de estudios *in vitro* e *in vivo*, indican que los beneficios obtenidos con los AE tienden a disminuir a través del tiempo dado a los cambios y adaptación en las poblaciones microbianas (Patra y Saxena, 2010).

Los AE también presentan propiedades antioxidantes que permiten mejorar la calidad de los productos animales. Nieto *et al.* (2010a) encontraron que la suplementación de ovejas con hojas de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) mejoró la calidad de la carne, el color de la grasa y redujo el olor rancio al final de un periodo de evaluación de 21 días. Resultados similares encontraron Nieto *et al.* (2010b) con la adición de hojas de tomillo en ovejas en

donde, además, se observaron bajos recuentos de bacterias, lo que se atribuye a la capacidad antimicrobial de los AE.

Ácidos orgánicos o dicarboxílicos

Los ácidos orgánicos se encuentran de forma natural en los tejidos biológicos, ya que son productos intermedios de algunos ciclos metabólicos, y algunos de ellos se producen también en el tracto digestivo de los rumiantes durante los procesos de fermentación. Estos ácidos se utilizan frecuentemente como aditivos en la alimentación de los animales no rumiantes, pero su uso en los animales rumiantes es todavía limitado. De hecho, la mayoría de las experiencias realizadas en estos se reducen a los ácidos fumárico y málico, ácidos dicarboxílicos que intervienen en el metabolismo del piruvato. Cuando se utilizan como aditivos, los ácidos orgánicos pueden ser administrados como tales, pero su manejo es problemático, ya que son líquidos corrosivos; por ello, resulta más conveniente la utilización de sus sales, que son sólidas y más fáciles de manipular (Carro y Ranilla, 2000).

Los ácidos dicarboxílicos (aspartato, fumarato y malato) son sustancias que se producen naturalmente ya que se considerarán importantes intermediarios metabólicos del ciclo de ácido cítrico y por lo tanto se encuentran comúnmente en los tejidos animales y vegetales. Se utilizan como aceptadores del electrón en la vía succinato-propionato y así un papel importante en la producción de ATP en un rumen las células microbianas (Carro y Ranilla, 2003). La propionogenesis como resultado del metabolismo de ácidos dicarboxílicos compite con la metanogénesis del rumen para el uso de hidrógeno metabólico. De acuerdo con la estequiometría de la fermentación ruminal, la suplementación de ácidos dicarboxílicos en la dieta de los rumiantes reducirá por tanto la producción de metano del rumen (Carro y Ranilla, 2003; Newbold *et al.*, 2005) y mejorar el balance energético del animal.

Newbold *et al.* (2005) calcula a partir de ensayos *in vitro* que 2.9 kg fumarato de sodio debe agregarse todos los días a una dieta de la vaca lechera para disminuir en un 10% su producción de metano. Los autores también indican que los ácidos libres son más eficientes que sus sales. La adición directa de grandes cantidades de ácidos

dicarboxílicos puros a las dietas animales no es práctico debido a la indeseable caída de pH ruminal y el consumo reducido y también por costos. El efecto del pH ha evitado mediante el uso de una forma encapsulada de ácido fumárico de una mezcla de ácido fumárico (85%) y aceite vegetal parcialmente hidrogenado (15%) (Newbold *et al.*, 2005).

Los ácidos dicarboxílicos también pueden ser eficaces en la prevención de la caída en el pH ruminal observada generalmente una a dos horas después de la alimentación de dietas de concentrado, redirigiendo la fermentación hacia la formación de propionato a expensas de lactato. De acuerdo con la reacción estequiométrica (1), Evans y Martin (1997), demostraron que la acumulación de H₂ inhibe la conversión de lactato a piruvato por *S. ruminantium* lactato deshidrogenasa. Por tanto, ácidos dicarboxílicos prevén un receptor de electrones H₂ que aumenta la utilización de lactato por esta bacteria ruminal predominante. Según Nisbet y Martin (1994b), la captación de lactato por *S. ruminantium* debido a la suplementación con malato es una vía inducible. Evans y Martin (2002), sugieren otra posibilidad para ácidos dicarboxílicos en estimular el crecimiento de *S. ruminantium* en medio enriquecido de lactato superando la deficiencia del oxaloacetato asociado con la gluconeogénesis a través de la vía fosfoenol piruvato. El fumarato y el malato se usan directamente como precursores de oxaloacetato y aspartato se utiliza para la síntesis de glucosa en lugar de oxaloacetato, que por lo tanto sigue estando disponible como sustrato para *S. ruminantium*.

Malato de sodio

El malato es una sal del ácido málico (ácido dicarboxílico) de cuatro carbonos que es comúnmente encontrado en tejidos biológicos debido a que es un intermediario del ciclo del ácido cítrico (Lehninger, 1977). Aunque solamente las bacterias aeróbicas capaces de respirar (i.e., *Escherichia coli*), poseen un ciclo del ácido cítrico funcional (oxidativo) (Nisbet y Martin, 1991). Algunas bacterias estrictamente aeróbicas usan un ciclo reductivo inverso del ciclo del ácido cítrico, conocido como la vía succinato-propionato para sintetizar succinato y/o propionato (Nisbet y Martin, 1991). El malato es también un intermediario clave en la vía succinato-propionato, y la bacteria ruminal predominante *Selenomonas ruminantium* usa este paso metabólico (Gottschalk, 1986). En un estudio de Nisbet y Martin (1991a), diferentes concentraciones de L-Malato (0.03 a 10 mM)

fueron evaluadas *in vitro*, observando un efecto dosis-respuesta con respecto a la utilización de lactato por *Selenomonas ruminantium*. Estudios *in vitro* han reportado que el DL-Malato altera favorablemente la fermentación ruminal (Martin y Streeter, 1995).

Los intermediarios del ciclo del ácido cítrico se acumulan en tejidos vegetales y el Malato puede componer hasta 1.5% de la materia seca de los zacates maduros. Sin embargo, debido a que el Malato de los henos de alfalfa y zacate Bermuda desaparecen demasiado rápido del rumen, la suplementación de malato pudiera ser necesaria para asegurar concentraciones adecuadas en el rumen de este ácido orgánico, a través de la estancia del ganado en los corrales de engorda (Martin *et al.*, 2004), especialmente con las raciones de finalización, que contienen niveles muy bajos de forraje (generalmente de 6 a 12%). La dosis efectiva mínima de malato que actúa sobre el metabolismo del rumen y reduce el riesgo de acidosis, se ha estimado en 40 a 80 g/día para novillos 450 kg de peso (Domescik y Martin, 1999); es decir, de 55 a 115 g d⁻¹ para una vaca de 650 kg de peso.

Otro de los efectos que se ha observado tras la administración de malato es una reducción de la producción de metano. El metano es uno de los productos finales de la fermentación ruminal y constituye una pérdida energética importante para el animal, que oscila entre el 11-13% de la energía metabolizable de la ración. Por otra parte, el metano contribuye al efecto invernadero, y el producido por los animales se estima que puede representar entre el 15-20 % de la producción global (Cicerone, 1988).

Carne ovina

La carne es el producto pecuario de mayor valor ya que posee proteínas y AA, minerales, grasas y ácidos grasos, vitaminas y otros componentes bioactivos, así como pequeñas cantidades de carbohidratos. Desde el punto de vista nutricional, la importancia de la carne deriva de sus proteínas de alta calidad, que contienen todos los aminoácidos esenciales, así como de sus minerales y vitaminas de elevada biodisponibilidad (FAO, 2018).

Importancia del consumo de carne

En los últimos años se están produciendo importantes cambios en los hábitos de consumo de carne, inducidos por la continua aparición de evidencias científicas que reportan; como a través de la dieta y sus componentes se pueden modular algunas funciones fisiológicas específicas en el organismo y por tanto favorecer el bienestar y la salud humana. Por otra parte, las enfermedades crónicas no trasmisibles como la aterosclerosis, diabetes tipo 2, obesidad, y ciertos cánceres, comunes en los países ricos y en aumento en los países en vías de desarrollo, están influenciadas por la alimentación (Reedy y Krebs-Smith, 2008).

La relación entre alimentación/nutrición y salud/enfermedad ha variado en las últimas décadas, pasando del concepto de “nutrición adecuada”, cuyo objetivo es cubrir los requerimientos nutricionales y por tanto, evitar enfermedades asociadas a una carencia nutricional, al de “nutrición óptima”, con la que se busca obtener un mayor bienestar y calidad de vida, así como una reducción en el riesgo de enfermedades crónicas (Biesalski, 2002). En este sentido es importante preguntarse sobre el papel y las posibilidades que ofrece un sector como el cárnico en el marco de la alimentación funcional (Roberfroid, 1999).

Características de la carne

Las características particulares de la carne dependen de muchos factores asociados al sistema de producción; especie, raza, alimentación, edad al sacrificio, entre otros. El conjunto de ellos hacen que el producto final sea heterogéneo y diverso, permitiendo que el consumidor disponga en el mercado de una gran variedad de productos para elegir (Priolo *et al.*, 2001).

La principal característica de los rumiantes es la capacidad de los microorganismos presentes en el sistema digestivo para degradar la celulosa convirtiendo el forraje en productos de alto valor biológico, útiles para la nutrición humana. Sin embargo, el actual potencial genético de los animales y las diferentes prácticas zootécnicas utilizadas, vinculadas en algunos casos a la necesidad de obtener mayores niveles de productividad, están cambiando las metodologías tradicionales. Animales alimentados

bajo distintos sistemas de producción ofrecen carnes con diferentes características de calidad en relación, principalmente, al color de la grasa subcutánea, al grado de terminación y a los atributos sensoriales (Priolo *et al.*, 2001). También se producen cambios importantes en varios componentes nutricionales relacionados positiva o negativamente con la salud humana. Ellos se refieren fundamentalmente a la composición en ácidos grasos, contenido de colesterol e isómeros del ácido linoléico conjugado (CLA) (Priolo *et al.*, 2001).

Aunque el consumidor dispone de información suficiente de un producto cárnico, sus necesidades y preferencias son variables. De acuerdo con Resurrección (2020) algunas características importantes a considerar podrían ser agrupadas de la siguiente manera: apariencia visual (color de la carne y de la grasa subcutánea, firmeza o consistencia, textura, cantidad de grasa extra-muscular, marmoleado y exudado), calidad comestible (jugosidad, ternura, aroma, sabor) y otros factores que podrían incluir precio, tamaño de la porción, facilidad y forma de preparación, envasado e información sobre el valor nutritivo, de salud y seguridad.

Para Garmyn, (2020) no es fácil definir los criterios de la calidad para la carne, ya que se trata de un producto diverso, que va cambiando en el tiempo y que tiene una durabilidad. Sin embargo, se han establecido algunos métodos de análisis para valorar más objetivamente los diferentes atributos de la carne.

Calidad de carne

La calidad comprende la palatabilidad, la sanidad y estar libre de patógenos y toxinas. La palatabilidad incluye ternura, sabor y succulencia. Cada uno de estos criterios depende nuevamente de una larga lista de otros factores que incluyen la edad y el sexo del animal, el estado fisiológico del animal vivo y la bioquímica del músculo, la grasa y el tejido conectivo *post mortem*, la composición de la canal y la contribución del alimento; al sabor, la acumulación de proteínas y grasas y las características de cada uno de ellos, así como el efecto de la genética sobre el carácter de los tejidos y el metabolismo. Por lo tanto, definir la calidad de la carne es un ejercicio complicado porque el concepto es multifacético (Weeb *et al.*, 2005).

Sabor y olor

El sabor y el olor son dos atributos complejos de la carne afectados por la especie, la edad, el grado de finalización y el tipo de tejido, la localidad, el género, la dieta, el manejo *postmortem* y el método de cocción son también los atributos más fácilmente detectables y evaluados por los consumidores como aceptables o no (Tshabalala *et al.*, 2003). El sabor, suavidad y el olor o los factores antes mencionados se conjugan para producir la sensación que el consumidor experimenta al comer. Esta sensación proviene del olor que penetra a través de la nariz y del gusto (salado, dulce, agrio y amargo) que se percibe en la boca. En el sabor de la carne incide el tipo de especie animal, dieta, método de cocción y método de preservación (p.ej., ahumado o curado) (Cross *et al.*, 1986). Asimismo, el producto debe tener un olor normal, que diferirá según la especie (p.ej., vacuno, cerdo, pollo, ovino), pero que variará sólo ligeramente de una especie a otra. Deberá evitarse la carne que desprenda cualquier tipo de olor rancio o extraño (Tshabalala *et al.*, 2003).

Firmeza

La carne debe aparecer más firme que blanda. Cuando se maneja el envase para uso y distribución al por menor, debe tener una consistencia firme pero no dura. Debe ceder a la presión, pero no estar blanda (Cross *et al.*, 1986).

Suavidad

Está relacionada con diversos factores como la edad y el sexo del animal o la posición de los músculos. Un factor que incide positivamente en la suavidad de la carne es la maduración *post-mortem*. Las canales se maduran almacenándolas a temperaturas de refrigeración durante un cierto período de tiempo después de la matanza y el enfriamiento inicial (Cross *et al.*, 1986).

Los factores más comunes asociados a la suavidad, son el tamaño del músculo, existiendo mayor suavidad a menor tamaño, la localización del músculo en el animal vivo, la función fisiológica del músculo, la edad del animal, la especie, el sexo, factores genéticos, procesos industriales posteriores al sacrificio, y hasta el temperamento del

animal (Voisinet et al. 1997). La suavidad se encuentra determinada por la ultra estructura que conforman los diferentes componentes de la misma, tales como las proteínas, la grasa y el tejido conectivo, así como por la cantidad y calidad de estos componentes. De este modo la composición y organización estructural sumadas a los cambios bioquímicos *post-mortem* son factores importantes para describir el mecanismo que define la suavidad final de un corte de carne (Field et al.1997).La inconsistencia en la suavidad de la carne es un gran problema que afecta a la industria, por ello la investigación de metodologías orientadas a solucionar este problema es una prioridad hoy en día (Field et al.1997).

Jugosidad

La jugosidad depende de la cantidad de agua retenida por un producto cárnico cocinado. La jugosidad incrementa el sabor, contribuye a la blandura de la carne haciendo que sea más fácil de masticar y estimula la producción de saliva. La retención de agua y el contenido de lípidos determinan la jugosidad. El estriado y la grasa presente en los bordes ayudan a retener el agua. Las pérdidas de agua se deben a la evaporación y goteo (Cross et al., 1986). La maduración *post mortem* de la carne puede incrementar la retención de agua y, en consecuencia, aumentar la jugosidad (Cross et al., 1986).

CAPÍTULO I. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON MALATO DE CALCIO Y ACEITES ESENCIALES

1.1 RESUMEN

Los aceites esenciales y el malato de calcio han sido propuestos como aditivos alimenticios para mejorar la eficiencia de transformación de alimentos en rumiantes consumiendo dietas altas en grano. El objetivo de este estudio fue determinar el comportamiento productivo y características de la canal de corderos suplementados con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación. Cuarenta corderos de 20 ± 3 kg PV y 4 meses de edad, fueron distribuidos aleatoriamente en cuatro tratamientos: 1) dieta basal (DB) sin aditivos, como grupo control (CTL); 2) DB + 150 g t^{-1} de aceites esenciales (AE); 3) DB + 2.5 kg de malato de calcio (MC) t^{-1} ; y 4) DB + $150 \text{ g AE} + 2.5 \text{ kg MC t}^{-1}$. No hubo diferencias ($P > 0.05$) en la ganancia diaria de peso (GDP), consumo de materia seca (CMS), conversión o eficiencia alimenticia (CA; EF) entre tratamientos. La digestibilidad total aparente de la MS fue menor ($P < 0.05$) en los tratamientos con MC. El peso de la canal fría, rendimiento de la canal caliente y fría fueron mayores ($P < 0.05$) en los corderos con AE que con MC. El rendimiento de la canal caliente tendió ($P = 0.08$) a ser mayor en los corderos con AE que con la DB. Una tendencia similar se observó para el rendimiento de la canal fría en los corderos con AE que con la DB. La inclusión de AE, MC o AE+MC no modifica las variables productivas, pero la suplementación con AE mejora las características de la canal de corderos en finalización. El peso de canal fría, rendimiento de la canal caliente y fría se mejoran con el uso de AE.

Palabras clave: corderos, productividad, canal, aceites esenciales, malato de calcio.

PRODUCTIVE BEHAVIOR OF LAMBS SUPPLEMENTED WITH CALCIUM MALATE AND ESSENTIAL OILS

1.2 ABSTRACT

Essential oils and calcium malate have been proposed as feed additives to improve feed conversion efficiency in ruminants consuming high-grain diets. The objective of this study was to determine the productive behavior and carcass characteristics of lambs supplemented with essential oils, calcium malate and its combination. Forty male lambs of 20 ± 3 kg LW and 4 months of age were randomly distributed in four treatments: 1) basal diet (DB) without additives, 2) DB + 150 g of essential oils (AE) t^{-1} ; 3) DB + 2.5 kg of calcium malate (MC) t^{-1} and 4) DB + 150 g AE + 2.5 kg MC t^{-1} . There were no differences ($P > 0.05$) in daily weight gain (GDP), dry matter intake (CMS), conversion or feed efficiency (CA; EF) between treatments. Cold carcass weight, hot and cold carcass yield were higher ($P < 0.05$) in lambs with AE than with MC. Hot carcass yield tended ($P = 0.08$) to be higher in lambs with AE than with DB. A similar trend was observed for cold carcass yield in lambs with AE than with DB. The inclusion of AE, MC or AE+MC does not modify the productive variables, but supplementation with AE improves the carcass characteristics, cold carcass weight and hot and cold carcass yield of finishing lambs.

Keywords: lambs, productivity, carcass, essential oils, calcium malate.

1.3 INTRODUCCIÓN

Los sistemas intensivos de finalización de corderos, utilizan tradicionalmente dietas altas en concentrados para lograr las máximas ganancias de peso en el menor tiempo posible. Sin embargo, este tipo de práctica conlleva a encarecer el producto debido al alto costo de los ingredientes energéticos como el maíz, y sorgo, o proteínicos como las pastas de oleaginosas utilizados para formular las dietas (Mendoza *et al.*, 2007); además, la presencia de problemas metabólicos, como la acidosis subclínica, es muy recurrente. Una práctica común para prevenir este desorden digestivo es el empleo de ionóforos antibióticos como lasalocid ó monensina, que actúan como modificadores de la fermentación ruminal (González-Momita *et al.*, 2009). Sin embargo, su uso se ha limitado en los últimos diez años por problemas de inocuidad del producto final. Ante esta situación, investigaciones recientes han buscado validar nuevos aditivos que mejoren la eficiencia de uso de estas dietas a través de una dinámica poblacional microbiana del rumen que origine una fermentación con menor transferencia de la energía de los alimentos consumidos a compuestos como el metano que el rumiante no puede usar en sus procesos metabólicos y que expulsa al medio ambiente incrementando los gases tipo invernadero (Murguía *et al.*, 2003; Benchaar *et al.*, 2011; Carberry *et al.*, 2014).

Los aceites esenciales vegetales agregados a dietas para rumiantes, pueden favorecer un ecosistema ruminal con menor liberación de metano, y así, aumentar la eficiencia de utilización de éstas, logrando tener igual ganancia de peso con un menor consumo de alimento, disminuyendo el impacto negativo al medio ambiente (Giannenas *et al.*, 2011).

Además, de los aceites esenciales, otros compuestos como el malato de calcio (forma ionizada del ácido málico) estimula la dinámica poblacional de *Selenomonas ruminantium* que favorece una fermentación con una mayor extensión de uso del lactato evitando la transferencia de la energía de los alimentos consumidos a compuestos que el rumiante no puede integrar a su metabolismo (Evans y Martin 1997; Martínez-González, 2015). Existe escasa investigación sobre un posible efecto sinérgico en la fermentación ruminal en corderos suplementados con la combinación de aceites esenciales y malato de calcio y que esto se refleje en la productividad animal o calidad de la canal.

Por lo que este estudio tuvo el objetivo de analizar el proceso de finalización de corderos alimentados con una dieta alta para ganancia diaria de peso con la adición de aceites esenciales y malato de calcio mediante un ensayo controlado de alimentación para generar información objetiva que valide el uso de los aditivos mencionados como opciones para la mejora de este proceso.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1 Corderos

El estudio recibió la aprobación institucional y se condujo de acuerdo con lo establecido en el reglamento de uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados y la norma mexicana para el cuidado de animales (NOM-062-ZOO-1999).

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de la Granja Experimental del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, Estado de México, (coordenadas: 19.52°LN, 98.88°LO y 2250 msnm), con temperaturas medias de 24°C, entre septiembre y noviembre de 2020.

Para esta investigación se usaron 36 corderos machos y 4 hembras con peso inicial de 20 ± 3 kg y 4 meses de edad. Los corderos fueron alojados en corraletas individuales bajo techo de 1.50 x 2 m, con piso de cemento y cama de aserrín, provistos de comedero individual y agua corriente, fresca y limpia. Los corderos fueron agrupados por peso inicial en cinco bloques, cada uno con ocho corderos y asignados al azar a uno de cuatro tratamientos, dentro de cada bloque. El diseño experimental fue bloques completos al azar con dos unidades experimentales por tratamiento dentro de bloque. Se consideró a cada cordero como una unidad experimental ($n = 10$).

1.4.2 Dietas experimentales

Se formuló una dieta base (DB) siguiendo las recomendaciones del NRC (2007) para una ganancia diaria de peso de 300 g/d de corderos en finalización. La composición de la DB y su contenido químico se presenta en el Cuadro 3.

Las dietas experimentales se formularon adicionando a la DB los aditivos a evaluar para formular cuatro tratamientos: 1) DB sin aditivos, como grupo control (CTL); 2) DB + 150 g t⁻¹ de una mezcla de aceites esenciales (AE; Emerald®, Nutryplus, México); 3) DB + 2.5 kg t⁻¹ de malato de calcio (MC; Rumalato®, Norel México); y 4) DB + 50 g t⁻¹ de AE + 2.5 kg t⁻¹ MC. La mezcla de AE contenía cinamaldehído, timol, carvacrol y eucaliptol. La dieta basal se muestra en el Cuadro 3, se hizo siguiendo las recomendaciones y

estimaciones nutrimentales del NRC (2007) para una ganancia diaria de peso de 300 g/d.

Cuadro 3. Ingredientes y aporte nutrimental de la dieta basal.

Ingrediente	Dieta basal
	Aporte (g kg ⁻¹ MS)
Maíz molido	304
Sorgo molido	300
Harina de soya al 47%	169
Rastrojo maíz	150
Caña melaza	50
Vitasal ovino Plus engorda ^{®Z}	20
Grasa de sobrepaso	5

Composición química^Y

Materia seca (g kg ⁻¹)	880.0
Proteína cruda (g kg ⁻¹ de MS)	150.0
Energía metabolizable (MJ kg ⁻¹ de MS)	11.3
Fibra detergente neutro (g kg ⁻¹ de MS)	194.2
Fibra detergente ácido (g kg ⁻¹ de MS)	110.6
Extracto etéreo (g kg ⁻¹ MS)	34.8
Calcio (g kg ⁻¹ de MS)	11.5
Fósforo (g kg ⁻¹ de MS)	4

[†]Composición declarada (g, mg, o UI kg⁻¹): 240 g de Ca; 30 g de P; 20 g de Mg; 80 g de Na; 120 g de Cl; 5 g de K; 5 g de S; 5 mg de Cr; 4000 mg de Mn; 2000 mg de Fe; 5000 mg de Zn; 100 mg de I; 30 mg de Se; 60 mg de Co; 500000 UI de vitamina A; 150000 UI de vitamina D; 1000 UI de vitamina E.

Las dietas se ofrecieron diariamente a las 7:00 y 16:00 h, iniciando con 1.2 kg cordero⁻¹ d⁻¹ e incrementándolo 10 % sobre el consumo próximo anterior en días posteriores para obtener no más del 10 % de rechazo y garantizar el consumo voluntario. El agua se ofreció en cubetas de 20 L de capacidad y se rellenaban diariamente para asegurar que

tuvieran agua disponible (limpia y fresca) las 24 h. Las cubetas se lavaban cada tercer día.

1.4.3 Variables productivas

Los corderos tuvieron un periodo de adaptación a las dietas de diez días, previos a la iniciación del periodo experimental, el cual tuvo una duración de 56 días.

Para determinar el consumo de materia seca (CMS), se pesó diariamente el alimento ofrecido y, después de 24 h. el rechazado. La diferencia entre lo ofrecido y lo rechazado, fue considerada el CMS de la dieta por día. Se tomó una muestra del alimento por tres días consecutivos para hacer una muestra compuesta de cada dieta para determinar el contenido materia seca (AOAC, 2005).

Los corderos se pesaron al inicio del periodo experimental y luego cada 14 días antes de ofrecer el alimento matutino durante dos días consecutivos. La ganancia diaria de peso (GDP) se calculó dividiendo el peso promedio de los pesajes entre los 14 días del periodo. La conversión y eficiencia alimenticia (CA y EA) se calculó dividiendo el CMS entre la GDP y la eficiencia alimenticia (EA), dividiendo la GDP entre el CMS.

1.4.4 Digestibilidad total aparente

Se colectaron muestras de alimento ofrecido por las mañanas y muestras de heces, directamente del recto de cada cordero durante siete días, del 49 al 56 del periodo experimental, las cuales se colocaron en bolsas de plástico y posteriormente se mezclaron para tener una muestra compuesta de alimento y una de heces. Las muestras de alimento, se secaron en una estufa de aire forzado a 55°C por 96 h hasta obtener peso constante (AOAC, 2005). Posteriormente, fueron molidas a través de un molino Wiley con una malla de 2 mm. La digestibilidad total aparente de la MS (DTAMS), se calculó utilizando la técnica de cenizas ácido insoluble (CAI) (Van Keulen y Young, 1977).

1.4.5 Rendimiento y peso de la canal

Para determinar el rendimiento y peso de la canal, nueve corderos (machos) por tratamiento fueron sacrificados al final de los 56 días del período experimental. Inmediatamente después del sacrificio, se registró el peso de la canal caliente, para ser refrigerada por 24 h a - 4 °C y, posteriormente, pesada para registrar el peso de la canal fría. Ambos pesajes se hicieron con una báscula digital Torrey tipo romana. Con estos pesos se calcularon los rendimientos de la canal, caliente y fría, como el resultado de dividir el peso respectivo de la canal entre el peso vivo al sacrificio, expresado en porcentaje. Adicionalmente al rendimiento y peso de la canal, se midió, en los días 20 y 56 del período experimental, el grosor de la grasa dorsal y área del musculo *Longissimus dorsi* en todos los corderos, con un equipo de ultrasonido (Sono Vet 600®, KeeboMed Inc, Illinois, USA), con un transductor de 7.5 MHz.

1.4.6 Análisis económico

Para el análisis económico se consideró el costo de adquisición de las materias primas y los corderos (\$ 2.08 US kg⁻¹), además del precio al que se pagaba la canal fría de cordero (\$ 5.00 US kg⁻¹) entre septiembre y diciembre de 2020. Para el cálculo del costo de mano de obra se tomó en cuenta el salario mínimo diario en el centro de México que fue de \$ 7.19 US y se multiplicó por 56 días de evaluación y se dividió entre los 40 corderos. Para el cálculo del costo de alimentación se multiplicó el consumo de cada dieta en base húmeda por su costo, esto se sumó al costo de adquisición de los corderos y mano de obra. La suma de estos rubros se restó al ingreso por la venta de la canal fría y la diferencia fue la utilidad expresada en \$ US cordero⁻¹.

1.4.7 Diseño experimental y análisis estadístico

Los datos fueron analizados de acuerdo a un diseño de bloques completos al azar y el criterio de bloqueo fue el peso inicial. Se tuvieron dos unidades experimentales por tratamiento dentro de bloque. El modelo estadístico fue el siguiente: $Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$ donde Y_{ijk} es la variable respuesta; μ = media general, τ = es el efecto de tratamiento ($i = 1 \dots 4$); β = es efecto aleatorio de bloque ($j = 1 \dots 5$); ε_{ijk} = error aleatorio con media 0 y varianza σ^2 . Se tuvieron 10 repeticiones por tratamiento, excepto para características de

la canal e ingreso por venta de la canal fría, donde se usaron 9 corderos por tratamiento. Todos los análisis de datos se realizaron empleando el PROC MIXED del programa estadístico SAS 9.4 (SAS Institute, 2013). Cuando se detectaron diferencias entre tratamientos, las medias de mínimos cuadrados fueron comparadas empleando la prueba de Tukey, considerando un efecto significativo cuando $P < 0.05$, y tendencias cuando $P \leq 0.1$.

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso vivo, la ganancia diaria de peso, el consumo diario de materia seca y la conversión y eficiencia alimenticias en todo el período de medición fueron iguales ($P > 0.05$) para todos los tratamientos (Cuadro 4Cuadro 4).

La ganancia diaria de peso estuvo en un intervalo de 340 a 420 g cordero⁻¹, lo que permite señalar que la dieta usada sí promovió una alta ganancia de peso, dentro del nivel esperado ya que la dieta se calculó para ganar 300 g d⁻¹.

La adición a la dieta de la mezcla de aceites esenciales, malato de calcio y la combinación de ambos, no generó mejoría en el proceso de finalización de los corderos en comparación a la dieta sin aditivos agregados. Esta situación de nula mejoría contrastó con lo registrado por Chaves *et al.* (2008) quienes al agregar a la dieta aceites esenciales de canela, ajo y enebro, a dosis de 200 mg kg⁻¹ de MS registraron mejoría en la conversión alimenticia y ganancia diaria de peso de corderos. La diferencia podría estar condicionada por la composición de aceites esenciales (cinamaldehído, timol, carvacrol, eucaliptol) y la dosis empleada en este estudio 90 mg kg⁻¹. Los resultados de este estudio también contrastan con los de Flores *et al.* (2003) quienes reportaron una mejora significativa de la conversión alimenticia (18%) en corderos de la raza Manchega suplementados con malato de calcio (2.5 kg t⁻¹). En este caso la diferencia entre estudios, a pesar de usar la misma dosis de malato de calcio, pudo ser dependiente del peso de entrada 14.9 kg vs. 20 kg PV, la raza y el aporte de proteína cruda de la dieta 18% vs 15% el nivel de forraje en la dieta, 0% vs. 15% el tipo de grano predominante cebada, maíz vs. maíz y sorgo. El tipo de grano predominante en la dieta que se ha probado modifica el desempeño de los corderos (Flores *et al.*, 2003).

La ausencia de diferencias significativas en este estudio coincide con los reportado Malekhahi *et al.* (2014) quienes no observaron diferencias en consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia en corderos Baluchi suplementados con 400 mg d⁻¹ de una mezcla aceites esenciales (timol, carvacrol, eugenol, limoneno, y cimaldehído), o 4 g d⁻¹ de malato de calcio. Mungói *et al.* (2012) tampoco observaron mejoras en el desempeño de corderos de la raza Manchega suplementados con malato

de calcio a 2 kg t⁻¹ de alimento. Esta experiencia previa fue confirmada por Loya-Olguin *et al.* (2019) quienes no observaron una mejora significativa en el desempeño productivo de corderos Pelibuey al ofrecer 4 g d⁻¹ de DL-ácido málico.

Cuadro 4. Variables productivas de corderos finalizados con dietas complementadas con aceites esenciales, malato de calcio o su combinación.

Parámetros [§]	Tratamientos [†]				EEM [¶]	Valor de P
	CTL	AE	MC	AE+MC		
Animales, <i>n</i>	10	10	10	10		
Peso inicial, kg	20.02	20.25	19.61	20.35	0.44	0.64
Peso final a 56 d, kg	41.19	41.54	39.71	42.24	1.68	0.21
GDP, 0 a 56 d, kg d ⁻¹	0.38	0.38	0.36	0.39	0.01	0.40
CMS, 0 a 56 d, kg d ⁻¹	1.42	1.41	1.36	1.42	0.06	0.52
CA, 0 a 56 d	3.78	3.76	3.83	3.65	0.16	0.83
EFA, 0 a 56 d	0.26	0.27	0.27	0.28	0.01	0.67

Valores dentro de fila con distinta literal son significativamente diferentes ($P < 0.05$) [†]CTL, grupo control, dieta basal sin aditivos; AE, mezcla de aceites esenciales (timol, carvacrol, eucaliptol); MC, malato de calcio; AE+MC, combinación de aceites esenciales y malato de calcio. [§]GDP, ganancia diaria de peso; CMS, consumo de materia seca; CA, conversión alimenticia; EFA, eficiencia alimenticia. [¶]EEM= error estándar de la media.

El coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca fue afectado ($P = 0.007$) por la inclusión de los aditivos. Los corderos suplementados con malato de calcio mostraron un coeficiente de 64.8% que fue inferior ($P < 0.05$) a los corderos control (69.6%) y los tratados con aceites esenciales (69.7%), pero similar ($P > 0.05$) a los corderos que consumieron la combinación de aceites esenciales y malato de calcio (68.1%).

Los resultados de este estudio coinciden con los reportado por Gonzales-Momita *et al.* (2009) en cuanto a la magnitud de los coeficientes para dietas de finalización (68 a 73.4%) y en el hecho de que la inclusión de malato calcio tendió a ($P = 0.10$) reducir el coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca. Este efecto deprimente del malato sobre la digestibilidad aparente también fue reportado previamente por Mungói *et al.* (2012). No obstante, los resultados contrastan con Malekkhahi *et al.* (2014) quienes no observaron diferencias en el coeficiente de digestibilidad aparente entre corderos suplementados con aceites esenciales (79%) y malato de calcio (76%). Esta variación puede ser producto de la diferencia en la composición de la dieta, el peso inicial de los corderos, la raza y el método para estimar el coeficiente de digestibilidad, que fue de

colecta total, mientras que en la presente investigación fue estimado por el método de cenizas insolubles en ácido.

Los tratamientos mostraron efecto ($P < 0.05$) en el peso de la canal fría y los rendimientos en canales caliente y fría; el peso de la canal caliente y de rumen, grosor de grasa y área de músculo *Longissimus dorsi* a 20 y 56 d del período de mediciones se mantuvieron iguales a través de los cuatro tratamientos evaluados (Cuadro 5).

El efecto significativo de los tratamientos en peso de la canal fría y los rendimientos en canal se explican en la diferencia registrada entre los corderos con la dieta adicionada con aceites esenciales vegetales en comparación con los alimentados con la dieta con malato de calcio. La canal fría en los primeros fue casi 13% más pesada que en los segundos, y los rendimientos de canal caliente y fría, de los primeros registraron 2.1 y casi 3 unidades porcentuales por arriba de los segundos, respectivamente.

Los corderos alimentados con la dieta sin aditivos o con la combinación de ambos mostraron siempre valores intermedios y similares a los extremos. Estos resultados contrastan con otros investigadores (Carro *et al.*, 2006) quienes no detectaron diferencias en el peso de la canal fría (12 kg) y rendimiento de la canal fría (48.2%) de corderos de la raza Manchega suplementados con malato de calcio.

El contraste en los resultados puede estar relacionado al bajo peso de sacrificio en el estudio citado, 25 kg comparado a los 41 kg de esta investigación. Loya-Olguin *et al.* (2019) no observaron diferencia en el peso de la canal caliente y rendimiento de la canal caliente de corderos Pelibuey suplementados con 4 g d⁻¹ de DL-ácido málico, lo que coincide con lo encontrado en esta investigación y pone en evidencia que el malato de calcio no afecta la deposición de proteína muscular.

Cuadro 5. Características de la canal y peso de rumen de corderos finalizados con dietas adicionadas con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.

Parámetros [§]	Tratamientos [†]				EEM [¶]	Valor de P
	CTL	AE	MC	AE+MC		
Animales, <i>n</i>	9	9	9	9		
PCC, kg	21.72	22.76	20.71	22.71	0.79	0.08
PCF, kg	20.59ab	21.68a	19.29b	21.59ab	0.77	0.03
RCC, %	52.80ab	54.70a	52.61b	53.75ab	0.52	0.03
RCF, %	50.08ab	52.08a	49.05b	51.11ab	0.66	0.02
PRV, kg	1.98	2.25	2.26	2.11	0.13	0.36
GGD, mm						
20 d	2.30	2.10	2.00	2.10	0.10	0.24
56 d	4.05	4.10	4.10	4.15	0.10	0.92
AMLD, mm ²						
20 d	746.00	804.00	729.80	789.40	43.78	0.34
56 d	1139.43	1118.87	1216.18	1091.50	67.56	0.59

Valores dentro de fila con distinta literal son significativamente diferentes ($P < 0.05$) [†]CTL, dieta basal, sin aditivos; AE, mezcla de aceites esenciales, (timol, carvacrol, eucaliptol); MC, malato de calcio; AE+MC, combinación de aceites esenciales y malato de calcio. [§]PCC, peso de la canal caliente; PCF, peso de la canal fría; RCC, rendimiento de la canal caliente; RCF, rendimiento de la canal fría; PRV, peso del rumen vacío; GGD, grosor de grasa dorsal; AMLD, área del musculo *Longissimus dorsi*. [¶]EEM: error estándar de la media.

El grosor de la grasa dorsal y el área del músculo *Longissimus dorsi* a los 20 y 56 días no fue diferente entre tratamientos. Tampoco el peso del rumen vacío fue afectado por la adición de AE o MC. Estos resultados coinciden con otras investigaciones (Loya-Olguin *et al.*, 2019) en cuanto a grosor de grasa dorsal; sin embargo, contrastan en el área del músculo de la espalda y esto se debió a que en su estudio Loya-Olguin *et al.* (2019) midieron el área de la sección conocida como *Longissimus lumbarum*. La ausencia de diferencias en el grosor de grasa dorsal en esta investigación puede deberse a que se sacrificaron corderos jóvenes con baja tendencia a depositar grasa, pues aún no alcanzan la madurez.

Cuadro 6. Indicadores económicos del proceso de finalización de corderos alimentados con dietas adicionadas con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación

Parámetros [§]	Tratamientos [†]				EEM ‡	Valor de P
	CTL	AE	MC	AE+MC		
Animales, <i>n</i>	10	10	10	10		
Precio de la dieta, USD kg ⁻¹	0.21	0.22	0.22	0.23		
Costo de compra, USD animal ⁻¹	41.71	42.19	40.86	42.40	2.90	0.65
Costo de manejo, USD animal ⁻¹	17.19	17.19	17.19	17.19		
Costo de alimentación, USD animal ⁻¹	16.89	17.16	16.88	18.10	0.70	0.21
Ingreso por venta de CF, USD animal ⁻¹	98.22a	103.61	91.99	102.83a		
	b	a	b	b	3.67	0.04
	32.97a		27.38			
Utilidad, USD animal ⁻¹	b	37.79a	b	34.96ab	2.40	0.03

Valores dentro de fila con distinta literal son significativamente diferentes ($P < 0.05$) [†]CTL, grupo control, dieta basal sin aditivos; AE, mezcla de aceites esenciales (timol, carvacrol, eucaliptol); MC, malato de calcio; AE+MC, combinación de aceites esenciales y malato de calcio. [§]USD, dólares de Estados Unidos de América; CF, canal fría. [‡]EEM = error estándar de la media.

El costo de alimentación no fue diferente entre tratamientos ($P > 0.05$); sin embargo, el ingreso por la venta de la canal fría, fue 11.62 dólares mayor ($P < 0.05$) en los corderos suplementados con aceites esenciales respecto a los tratados con malato de calcio, aunque similar al grupo control y la combinación aceites esenciales y malto (Cuadro 6). La misma tendencia se observó para la utilidad total por cordero, donde los animales tratados con aceites esenciales mostraron una diferencia ($P < 0.05$) de 10.4 dólares respecto al grupo tratado con malato de calcio y de 4.8 dólares respecto al grupo control, aunque con este último la diferencia fue solo numérica. Los indicadores económicos observados en los corderos alimentados con las dietas complementadas con aceites esenciales o su combinación con malato de calcio en general mostraron que estas dos opciones tecnológicas pueden ayudar una opción para mejorar el proceso de finalización de corderos.

1.6 CONCLUSIONES

La finalización de corderos con dietas para alta ganancia diaria de peso puede mejorar en peso de la canal fría y rendimientos en canal caliente y fría si a la dieta se le agrega una mezcla de aceites esenciales vegetales; sin embargo, para influir positivamente en otros componentes del proceso de finalización de corderos mediante la adición de aceites esenciales deberá hacerse mayor investigación. Los componentes del proceso de finalización de corderos no se mejoran cuando la dieta para alta ganancia diaria de peso es adicionada con malato de calcio o su combinación con aceites esenciales. Los indicadores económicos fueron mejores en los corderos complementados con aceites esenciales.

CAPÍTULO II. DEGRADABILIDAD *IN SITU* Y PRODUCCIÓN DE METANO *IN VITRO* DE UNA DIETA ADICIONADA CON ACEITES ESENCIALES Y MALATO DE CALCIO.

2.1 RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue medir la degradabilidad ruminal de la materia seca, de las fracciones fibra y la producción de biogás *in vitro* de dietas tratadas con aceites esenciales (AE), malato de calcio (MC) y su combinación (AE+MC). Se usó la técnica de la bolsa de nylon para determinar la desaparición *in situ* y parámetros de degradabilidad ruminal con cuatro borregos fistulados en el rumen y distribuidas en un diseño de cuadro latino. Los periodos de incubación ruminal fueron 0, 3, 6, 9, 12, 24 y 48 h. Los tratamientos fueron la dieta basal (DB); DB con AE 150 g t⁻¹; DB con MC 2.5 kg t⁻¹ y DB con AE 150 g t⁻¹ y MC 2.5 kg t⁻¹. La producción de metano y bióxido de carbono *in vitro* se midió por 24 h. La adición de aditivos no modificó ($P > 0.05$) la desaparición de materia seca de 0 a 48 h, aunque desaparición de la fibra detergente neutro fue mayor ($P < 0.05$) a las 3 horas de incubación en la dieta con AE. Los parámetros de degradabilidad (i.e. a, b y c) y concentración molar de acetato, propionato, butirato, no fueron afectados ($P > 0.05$) por los aditivos. La degradabilidad efectiva de la fracción potencialmente degradable de la materia seca fue mayor ($P < 0.05$) en la dieta con AE comparada con las dietas con MC o AE+MC, pero similar ($P > 0.05$) a la DB. La dieta con AE redujo ($P < 0.05$) la producción *in vitro* de metano e incrementó ($P < 0.05$) la de bióxido de carbono comparada con la dieta con AE+MC. Estos datos indican que los AE, pero no su combinación con MC, mejoran la degradabilidad efectiva de la materia seca y reducen la producción de metano *in vitro*.

Palabras clave: fermentación ruminal, cinética de degradación, metano, cinética, ácidos orgánicos.

IN SITU DEGRADABILITY AND IN VITRO METHANE PRODUCTION OF A DIET ADDED WITH ESSENTIAL OILS AND CALCIUM MALATE.

2.2 ABSTRACT

The objective of this research was to measure the ruminal degradability of dry matter, fiber fractions and *in vitro* biogas production of diets treated with essential oils (EO), calcium malate (CM) and their combination (EO+CM). The nylon bag technique was used to determine the *in situ* disappearance and ruminal degradability parameters with four sheep fistulated in rumen and distributed in a Latin-square design. The ruminal incubation periods were 0, 3, 6, 9, 12, 24 and 48 h. The treatments were the basal diet (BD); BD with EO 150 g t⁻¹; BD with CM 2.5 kg t⁻¹ and BD with EO 150 g t⁻¹ and CM 2.5 kg t⁻¹. The *in vitro* methane and carbon dioxide production was carried out for 24 h. The addition of additives did not modify ($P > 0.05$) the disappearance of dry matter from 0 to 48 h, although the neutral detergent fiber disappearance was higher ($P < 0.05$) at 3 h of incubation in EO diet. The degradability parameters (i.e. a, b and c) and molar concentration of acetate, propionate, butyrate, were not affected ($P > 0.05$) by the additives. The effective degradability of the potential degradable fraction of dry matter was higher ($P < 0.05$) in EO diet compared to CM or EO+CM diets, but similar ($P > 0.05$) to BD. The EO diet reduced ($P < 0.05$) *in vitro* methane production and increased ($P < 0.05$) carbon dioxide production compared to EO+CM diet. These data indicate that EO, but not their combination with MC, improve the effective dry matter degradability and reduce methane production *in vitro*.

Keywords: rumen fermentation, degradation kinetics, methane, kinetics, organic acids.

2.3 INTRODUCCIÓN

En la actualidad manipular el microbiota ruminal para mejorar la eficiencia y conversión del alimento en productos de origen animal para consumo humano, ha sido motivo de investigación de nutriólogos de rumiantes. El uso de ionóforos antibióticos como aditivos alimentarios, ha demostrado ser una herramienta útil para reducir las pérdidas de energía (en forma de metano) y nitrógeno (en forma de amoníaco) de la dieta (McGuffey *et al.*, 2001). Sin embargo, el uso de antibióticos como aditivos alimentarios está prohibido en la Unión Europea por temor a la aparición de residuos en los productos alimenticios (Russell y Houlihan, 2003). Aun cuando los modificadores de la fermentación ruminal antimicrobianos en animales destinados al consumo humano están siendo regulados en algunos países (Millet y Maertens, 2011), todavía se utilizan en los Estados Unidos y México.

Por tanto, existe un interés creciente en encontrar alternativas nutricionales naturales para reducir las pérdidas de energía. Por ejemplo, se estudiaron varias estrategias nutricionales para cambiar las vías de fermentación en el rumen. La adición de aceites esenciales (AE) es una de estas estrategias, el aceite esencial de romero (AER) es un ejemplo (Cobellis *et al.*, 2015). Los ácidos orgánicos, puedan tener relación con los procesos digestivos, eficiencia productiva, incluso utilizado como profilaxis de procesos patológicos, como el meteorismo y la acidosis láctica ruminal (Castillo *et al.*, 2004).

Busquet *et al.* (2005) evaluaron el efecto de ciertas concentraciones de varios extractos de plantas en un cultivo por lotes *in vitro* de fermentación microbiana ruminal a 24 h; el aceite de canela redujo la concentración de N amoniacal y aumentó la proporción molar de propionato en comparación con el testigo. En el mismo ensayo *in vitro*, el aceite de ajo aumentó las proporciones molares de propionato y butirato y redujo la proporción molar de acetato en comparación con el testigo.

El uso de extractos de plantas como Aceites Esenciales (AE) y Malato de Calcio (MC) (sal del Ácido Málico), surgen como algunas de las alternativas más naturales al uso de antibióticos en la nutrición animal. Por esta razón, el objetivo de la investigación fue evaluar el uso de aceites esenciales, malato de calcio y su combinación, mediante la

suplementación de estos en dietas altas en grano para la manipulación de la microbiota ruminal.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de la Granja Experimental del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, ubicado en el km 36.5 de la carretera Federal México-Texcoco, Montecillo, México., que se localiza geográficamente a 19° 28 4.26 LN, y 98° 53 42.18 LO, a una altitud de 2250 m, y una temperatura media anual de 15.2 °C (García, 2004).

2.4.1 Animales, dietas y diseño experimental

El trabajo de investigación recibió la aprobación institucional y se condujo de acuerdo con lo establecido en el reglamento de uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados y la norma mexicana para el cuidado de animales (NOM-062-ZOO-1999).

El experimento se diseñó como un cuadrado latino de 4×4 equilibrado para efectos de arrastre utilizando cuatro borregas Suffolk de 6 años, con un peso corporal medio de 70 ± 3.5 kg al comienzo del experimento, equipadas con una cánula en rumen.

Los animales se mantuvieron en corraletas individuales bajo techo de 1.50 × 2 m, con piso de cemento y cama de aserrín, provistos de comedero individual y acceso libre al agua en cubetas de 20 L. Se desparasitaron con 1 mL 50 kg⁻¹ peso vivo de Ivermectina (Ivomec F®) subcutánea, previo al inicio del experimento.

La dieta basal se formuló con maíz molido, sorgo molido, heno de avena, harina de soya, melaza, premezcla vitamínica mineral y grasa de sobrepaso como se describe en la Cuadro 1. Los tratamientos experimentales fueron los siguientes: (1) Dieta basal sin aditivos (DB), (2) DB + aceites esenciales 150 g t⁻¹ (AE; Emerald®, Nutryplus, México), (3) DB + malato de calcio 2.5 kg t⁻¹ (MC; Rumalato®, Norel México, México) y (4) DB + aceites esenciales 150 g t⁻¹, y malato de calcio 2.5 kg t⁻¹ (AE+MC). Los niveles de AE (cinamaldehído, carvacrol, timol, eucaliptol) y MC se basaron en las recomendaciones de las casas comerciales. Los aditivos se mezclaron en la premezcla mineral.

Cuadro 7. Ingredientes y aporte nutrimental de la dieta basal.

Ingrediente	Dieta basal
	Aporte (g kg ⁻¹ MS)
Maíz molido	304
Sorgo molido	300
Harina de soya al 47%	169
Rastrojo maíz	150
Caña melaza	50
Vitasal ovino Plus engorda ^z	20
Grasa de sobrepaso	5

Composición química^y

Materia seca (g kg ⁻¹)	880.0
Proteína cruda (g kg ⁻¹ de MS)	150.0
Energía metabolizable (MJ kg ⁻¹ de MS)	11.3
Fibra detergente neutro (g kg ⁻¹ de MS)	194.2
Fibra detergente ácido (g kg ⁻¹ de MS)	110.6
Extracto etéreo (g kg ⁻¹ MS)	34.8
Calcio (g kg ⁻¹ de MS)	11.5
Fósforo (g kg ⁻¹ de MS)	4

^zComposición declarada (g, mg, o UI kg⁻¹): 240 g de Ca; 30 g de P; 20 g de Mg; 80 g de Na; 120 g de Cl; 5 g de K; 5 g de S; 5 mg de Cr; 4000 mg de Mn; 2000 mg de Fe; 5000 mg de Zn; 100 mg de I; 30 mg de Se; 60 mg de Co; 500,000 UI de vitamina A; 150,000 UI de vitamina D; 1,000 UI de vitamina E. ^yValores calculados (NRC, 2007).

2.4.2 Medición de pH ruminal

En cada uno de los cuatro períodos de 24 días, incluidos 21 días de adaptación y 3 días de muestreo, en el día tres se tomaron muestras de líquido ruminal que se depositaron individualmente en un vaso de precipitado y se les midió el pH con un potenciómetro portátil (HANNA®, Hannapro SA de CV, México) calibrado a pH 4 y 7.

2.4.3 Degradabilidad *in situ*

Para determinar la degradabilidad *in situ* de la materia seca (MS) las dietas fueron ofrecidas diariamente con base al consumo de MS para mantenimiento (2 % peso corporal) con periodos de 21 días de adaptación entre cambios de dietas y tres para toma de muestras. Se utilizaron bolsas Ankom® con poro promedio de 25 µm. Las bolsas se

pesaron (peso constante; 60°C por 24 h), posteriormente se les colocó 0.5 g de las dietas experimentales (DB, DB+AE, DB+MC, DB+AE+MC) y se identificaron. Los horarios de incubación fueron los siguientes, 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 h. Se utilizaron tres bolsas para cada horario de incubación (una bolsa con muestra, su repetición y un blanco) por tratamiento, 24 bolsas por borrega, 96 bolsas por periodo y 384 bolsas para todo el experimento. Las bolsas fueron colocadas en redes especiales con cuatro compartimentos, identificadas con un color diferente por tratamiento, y un cordón de color distinto (que permitía pudieran ser sacadas del rumen) que indicaba el horario correspondiente, en el cuarto compartimento del lado contrario al cordón se colocó un contrapeso de acero inoxidable para que se mantuvieran en la región ventral del rumen. Las bolsas con los horarios 0, 3, 6, 9, 12, 24 y 48 h, se introdujeron juntas en el rumen, se sacaron en los horarios correspondientes, al día siguiente que se introdujo la red con las bolsas de 24 h, y al día siguiente cuando se sacó en el horario correspondiente, se introdujo la red de 48 h, para que posteriormente se sacaran juntas las redes de 48 (Ørskov y McDonald 1979). Las bolsas con horario cero horas se metieron solo en agua tibia a 39 °C por 5 min. Las bolsas que se sacaron en cada periodo fueron lavadas con agua corriente a chorro hasta que tenían un color blanco, se pusieron a secar a temperatura ambiente durante 2 h, y posteriormente se metieron a una estufa a 100 °C durante 24 horas, se pesaron y registró su peso para determinar el contenido de materia seca (MS; ID 950.02; AOAC, 1990).

La fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) fueron analizadas secuencialmente (Van Soest *et al.*, 1991) usando un Ankom Fiber Analyzer incubator (Ankom Technology, Fairport, New York, USA). El cálculo de la desaparición de la materia seca (DMS), desaparición de la FDN (DFDN) y desaparición de la FDA (DFDA)

de cada horario se hizo por diferencia de peso de la muestra registrado antes y después de la incubación.

2.4.4 Cinética de degradación ruminal

Los datos de DMS, DFDN y DFDA fueron utilizados para estimar los parámetros de degradación usando la ecuación propuesta por Ørskov y McDonald (1979):

$$Y = a + b (1 - e^{-ct})$$

dónde: Y = es igual a la fracción de la MS, FDN y FDA que desaparece de la bolsa después del tiempo de incubación (t) en horas; a = es la fracción soluble de la muestra (intercepto); b = es la fracción insoluble pero potencialmente degradable de muestra; c = es la tasa fraccional de degradación de la fracción b de la muestra.

La degradabilidad efectiva de la fracción b (DEFb), se estimó de acuerdo al procedimiento puesto por Correa (2009) que requiere el uso de métodos numéricos para despejar el tiempo "t" de la expresión $1 = e^{-kd^*t} + e^{-kp^*t}$, y reemplazarlo en la expresión $b * e^{-kd^*t}$ de donde se obtuvo la DEFb asumiendo una tasa de pasaje ruminal de 0.05 h^{-1} . Donde: b y t ya fueron definidos, kd = es la tasa constante de degradación ruminal y kp = es la tasa constante de pasaje ruminal. Para esta estimación se utilizó la función SOLVER del programa Excel de Microsoft Office. El pasaje ruminal de la fracción b (PRb) fue calculado como la fracción b - DEFb, mientras que la fracción no degradable de la MS, FDN y FDA (U) se calculó como $100 - (a+b)$.

2.4.5 Ácidos grasos volátiles (AGV), metano (CH₄), bióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno amoniacal (NH₄)

Para la determinación de ácidos grasos volátiles (AGV), en el tercer día de cada periodo de muestreo, se recolectaron 4 mL de líquido ruminal y se depositaron en viales Eppendorf® de 10 mL y se acidificaron con ácido metafosfórico (Meyer®, 0185-25) al 25% en una relación 4:1 (Cobos-Peralta *et al.*, 2018); posteriormente, las muestras fueron analizadas en un cromatógrafo de gases (HP6890, USA.), con una columna capilar HP-FFAP 19091F-433 (Agilent, USA.), con una película de 0.25 micras, longitud de 30 m y un diámetro de 0.25 mm. Se utilizó nitrógeno como gas acarreador, con un

flujo de hidrogeno de 33 mL min⁻¹, el flujo de aire fue de 330 mL min⁻¹. Se utilizó nitrógeno como Make up (14 mL min⁻¹). La temperatura del inyector fue de 230 °C y del detector 240 °C. Las condiciones del horno fueron: rampa 1, velocidad de 285 °C min⁻¹, temperatura de 95 °C y tiempo de 0.15 min. Rampa 2: velocidad de 15°C min⁻¹, temperatura de 145 °C y tiempo de 6 min, con una corrida total de 9.94 min. Los tiempos de retención fueron 1.26 min para acetato, 1.60 min propionato y 2.09 min butirato. La concentración molar de CH₄ y CO₂ se calcularon según la ecuación de gases ideales (Blümmel *et al.*, 1997).

La determinación de nitrógeno amoniacal (N-NH₃) se realizó mediante la técnica de McCullogh (1967) y las muestras se midieron en un espectrofotómetro modelo CARY 1E (Varian, USA) a 630 nm.

2.4.6 Medición de biogás *in vitro*

Se recolectaron 500 mL de líquido ruminal fresco de un bovino adulto con cánula ruminal, y fue llevado al laboratorio en un termo a 39 °C, para inocular los biofermentadores con las dietas experimentales. Se molieron las 4 dietas experimentales con un molino Willey y una criba de 1 mm. Se pesaron muestras de 0.5 g y se agregaron a viales serológicos de 120 mL previamente identificados que contenían 45 mL de medio de cultivo para bacterias totales (Cobos y Yokoyama, 1995), para sustituir las fuentes de energía (glucosa, celulosa y almidón) por las dietas experimentales según el tratamiento. Todos los viales se mantuvieron en condiciones anaeróbicas con CO₂ y cada vial se consideró un biofermentador y una unidad experimental. Las proporciones de CO₂ y CH₄ se determinaron en un cromatógrafo de gases (Perkin-Elmer®) equipado con un detector de conductividad térmica y una columna empacada Poropack. Las condiciones de detección fueron: temperaturas de horno 80 °C, columna empacada 170 °C y detector de conductividad térmica 130 °C; tiempos de retención 0.71 y 1.05 minutos para CO₂ y

CH₄. El helio se utilizó como gas acarreador con un flujo de 23 mL m⁻¹. La medición de biogás se realizó por 24 h.

2.4.7 Análisis estadístico

El experimento fue realizado empleando un diseño de cuadrado latino 4×4 y el modelo estadístico fue el siguiente: $Y_{ij(k)} = \mu + \text{FILAi} + \text{COLj} + \tau_{(k)} + \epsilon_{ij(k)}$; Donde: Y_{ijk} = la observación $ij(k)$; μ = la media general; FILAi = el efecto de fila (periodo) i ; COLj = el efecto de columna (animal) j ; $\tau_{(k)}$ = es el efecto fijo de tratamiento k ; $\epsilon_{ij(k)}$ = es el error aleatorio con media 0 y varianza σ^2 . Para la estimación de los parámetros de cinética de degradación (a , b y c), la ecuación de Ørskov y McDonald (1979) se ajustó a un modelo de regresión no lineal bajo el procedimiento NLIN de SAS 9.4. Para los datos de producción de biogás *in vitro* el diseño fue completamente al azar. Los datos fueron analizados empleando el PROC GLM de SAS 9.4, cuando se detectaron diferencias con $\alpha=0.05$ la separación de medias se hizo empleando la prueba de Tukey.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La DMS no fue afectada ($P < 0.05$) por los tratamientos en las horas 3, 6, 9, 12 y 24 de incubación (Cuadro 8). Sin embargo, en la hora 48 la dieta con aceites esenciales tendió a mostrar mayor DMS que la dieta basal ($P = 0.08$) o la dieta con aceites esenciales y malato de calcio ($P = 0.09$). Catalá-Gregori *et al.* (2019) también observaron un aumento de la DMS a la hora 48 con dieta suplementadas con cinamaldehído (250 o 500 mg kg⁻¹). Pero Salem *et al.* (2012) observaron una disminución en la DMS de harina de soya al adicionar extractos de *Acacia saligna* y *Atriplex halimus*. Mientras que Newbold *et al.* (2004) no notaron cambios en la DMS en la hora 48 cuando agregaron una mezcla de aceites esenciales. Estas variaciones pueden asociarse a la diferencia en sustratos de las dietas empleadas y a los componentes de la mezcla de aceites esenciales.

Cuadro 8. Desaparición ruminal y variables de degradación de la materia seca de dietas adicionadas con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.

PARÁMETROS ^Y	TRATAMIENTOS ^Z				EEM ^X	Valor de P
	DB	AE	MC	AE+MC		
Desaparición (D h ⁻¹), % de MS						
D0	22.02	20.67	21.60	20.55	0.65	0.3829
D3	31.18	34.81	33.19	29.12	2.58	0.4890
D6	38.27	40.10	36.13	36.42	2.45	0.6586
D9	41.18	43.85	37.81	36.01	3.25	0.4011
D12	48.63	52.71	43.99	43.34	2.49	0.1107
D24	58.14	60.91	59.43	52.68	2.48	0.2012
D48	65.13	74.69	66.80	65.53	2.21	0.0657
Degradabilidad ruminal						
a, % MS	22.15	22.57	23.02	21.45	1.01	0.7327
b, % MS	53.80	59.66	50.53	53.26	5.01	0.6444
c, h ⁻¹	0.07	0.07	0.05	0.06	0.02	0.8661
a+b, % MS	75.94	82.23	73.55	74.71	4.85	0.6179
DEFb % MS	26.30 ^{ab}	29.80 ^a	24.69 ^b	24.49 ^b	0.95	0.0245
PRb, % MS	27.50	29.87	25.84	28.77	4.76	0.9371
U, % MS	24.06	17.77	26.45	25.30	4.85	0.6177

^{ab}Medias en la misma fila con distinta literal son significativamente diferentes ($P < 0.05$). ^ZDB= sin aditivos; AE= mezcla de aceites esenciales (cinamaldehído, carvacrol, timol, eucaliptol); MC= malato de calcio; AE+MC= combinación de aceites esenciales y malato de calcio. ^YMS= materia seca; a= fracción soluble del sustrato; b= fracción insoluble pero potencialmente degradable; a+b= degradabilidad potencial; c= tasa constante de degradación; DEFb= degradabilidad

efectiva de la fracción b con una tasa de pasaje ruminal $k_p = 0.05 \text{ h}^{-1}$; PRb= pasaje ruminal de la fracción b; U= fracción no degradable de la MS. \times EEM = error estándar de la media.

Los parámetros de degradabilidad de la materia seca (i.e. a, b, a+b y c), tasa de pasaje ruminal y fracción no degradable de la MS no fueron modificados ($P < 0.05$) por la adición de los aditivos a la dieta basal. Estos resultados contrastan con Liu *et al.* (2009) quienes observaron que la fracción soluble (a) y la tasa fraccional de degradación de la MS (c), disminuyeron con la adición de una dosis alta (23.4 g kg^{-1} de MS) de malato, y la fracción insoluble potencialmente degradable (b) se incrementó. Esto confirmó lo observado por Newbold *et al.* (2004) que no notaron cambios en los parámetros a y b de dietas que contenían una mezcla de aceites esenciales, aunque estos autores si observaron diferencias en el parámetro c. La diferencia de nuestra investigación con estudios previos se puede asociar a la presentación de la dieta que en nuestro estudio fue dieta totalmente mezclada, mientras que los estudios citados, la dieta fue una mezcla de granos o pasta de soya sin forraje. La dosis de aditivos empleada también puede ser una fuente de variación.

La degradabilidad efectiva de la fracción b de la MS fue mayor ($P < 0.05$) en la dieta con aceites comparada con las dietas con malato de calcio o aceites esenciales más malato de calcio, pero similar ($P > 0.05$) a la dieta basal. Este efecto de los aceites esenciales contrasta con lo reportado por Catalá-Gregori *et al.* (2019), aunque el efecto deprimente del malato de calcio en la degradabilidad efectiva de la MS fue previamente reportado por Liu *et al.* (2009).

La DFDN en la hora 0 fue inferior ($P < 0.05$) en la dieta con aceites esenciales y su combinación con malato de calcio comparados con la dieta basal (Cuadro 9). Aunque en la hora 3 de incubación, la dieta con aceites esenciales mostró mayor ($P < 0.05$) DFDN que la dieta con malato de calcio o la combinación. En contraste Catalá-Gregori *et al.* (2019) observaron una disminución de la DFDN en la hora 4 en la dieta complementada con cinamaldehído. En el resto de tiempo de incubación (i.e. 6 a 48 horas) no se modificó ($P > 0.01$) la DFDN. Los parámetros de degradabilidad ruminal (i.e. a, b, a+b, y c),

degradabilidad efectiva y pasaje ruminal y fracción no degradable no fueron afectados ($P > 0.05$), resultados que confirman los reportado por Catalá-Gregori *et al.* (2019).

Cuadro 9. Desaparición ruminal y variables de degradación de la fibra detergente neutro (FDN) de dietas adicionadas con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.

PÁRAMETROS ^Y	TRATAMIENTO ^Z					Valor de P
	DB	AE	MC	AE+MC	EEM ^X	
Desaparición ($D h^{-1}$), % de la FDN						
D0	21.99 ^a	19.20 ^b	21.23 ^{ab}	19.83 ^b	0.49	0.0113
D3	25.61 ^{ab}	30.82 ^a	23.85 ^b	24.80 ^b	1.80	0.0483
D6	34.36	33.30	29.06	29.41	1.61	0.0593
D9	36.99	36.60	29.58	34.73	2.43	0.1441
D12	45.79	44.77	36.84	39.65	2.92	0.1230
D24	53.26	54.01	50.26	49.80	2.07	0.3900
D48	59.92	65.78	57.45	59.79	2.54	0.1472
Degradabilidad ruminal						
a, %	20.17	21.02	19.50	19.17	0.85	0.4891
b, %	45.55	53.27	50.01	46.38	3.48	0.4403
c, h^{-1}	0.07	0.06	0.04	0.05	0.01	0.2643
a+b, %	65.73	74.28	69.51	65.55	3.76	0.3887
DEFb, %	23.83	25.15	21.51	22.37	1.54	0.4213
PRb, %	21.72	28.12	28.49	24.01	2.76	0.3274
U, %	34.27	25.72	30.49	34.45	3.76	0.3887

^{ab}Medias en la misma fila con distinta literal son significativamente diferentes ($P < 0.05$). ^ZDB= sin aditivos; AE= mezcla de aceites esenciales (cinamaldehído, carvacrol, timol, eucaliptol); MC= malato de calcio; AE+MC= combinación de aceites esenciales y malato de calcio. ^Ya= fracción soluble del sustrato; b= fracción insoluble pero potencialmente degradable; a+b= degradabilidad potencial; c= tasa constante de degradación; DEFb= degradabilidad efectiva de la fracción b con una tasa de pasaje ruminal $k_p = 0.05 h^{-1}$; PRb= pasaje ruminal de la fracción b; U= fracción no degradable de la FDN.

La DFDA en la hora 0 de incubación fue mayor en las dietas con aceites esenciales, y malato de calcio, respecto a la dieta basal o la combinación de aceites esenciales y malato de calcio (Cuadro 10). A las 12 horas post incubación la DFDA fue inferior ($P < 0.05$) en la dieta con malato de calcio comparada con la dieta basal, pero similar al resto de tratamientos, aunque a las 24 y 48 horas de incubación la DFDA no fue diferente ($P > 0.05$) entre tratamientos. Estos datos coinciden con Catalá-Gregori *et al.* (2019) cuando suplementaron cinamaldehído en dosis de 250 mg kg^{-1} . La fracción soluble de la FDA en la muestra (*i.e.* a) fue mayor ($P < 0.05$) en la dieta con malato de calcio comparada

con la dieta basal, y la combinación de aceite esenciales con malato. El resto de parámetros de degradabilidad no fue afectado ($P > 0.05$) por los aditivos, confirmando lo observado por Catalá-Gregori *et al.* (2019).

Cuadro 10. Desaparición ruminal y variables de degradación de la fibra detergente ácido (FDA) de dietas adicionadas con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.

PÁRAMETRO ^Y	TRATAMIENTO ^Z					Valor de P
	DB	AE	MC	AE+MC	EEM ^X	
Desaparición ($D h^{-1}$), % de la FDA						
D0	3.05 ^b	4.27 ^a	4.26 ^a	3.34 ^b	0.09	<0.0001
D3	6.88	5.76	5.67	5.70	0.50	0.2779
D6	8.33	7.58	7.35	7.89	0.46	0.4710
D9	8.18	7.29	8.53	8.12	0.53	0.4146
D12	10.38 ^a	8.96 ^{ab}	7.94 ^b	8.99 ^{ab}	0.54	0.0321
D24	11.11	10.57	9.71	9.96	0.65	0.4417
D48	12.70	15.53	14.59	15.52	1.38	0.4373
Degradabilidad ruminal						
a, %	3.62 ^c	4.79 ^{ab}	4.98 ^a	4.26 ^{bc}	0.13	0.0015
b, %	12.88	19.04	18.78	17.95	5.11	0.8104
c, h^{-1}	0.11	0.02	0.02	0.05	0.02	0.0582
a+b, %	16.50	23.82	23.76	22.21	5.19	0.7298
DEFb, %	7.61	5.80	5.73	5.73	1.12	0.5943
PRb, %	5.27	13.23	13.05	12.22	4.04	0.4989
U, %	83.50	76.18	76.24	77.79	5.19	0.7298

^{ab}Medias en la misma fila con distinta literal son significativamente diferentes ($P < 0.05$). ^ZDB= sin aditivos; AE= mezcla de aceites esenciales (cinamaldehído, carvacrol, timol, eucaliptol); MC= malato de calcio; AE+MC= combinación de aceites esenciales y malato de calcio. ^Ya= fracción soluble del sustrato; b= fracción insoluble pero potencialmente degradable; a+b= degradabilidad potencial; c= tasa constante de degradación; DEFb= degradabilidad efectiva de la fracción b con una tasa de pasaje ruminal $k_p = 0.05 h^{-1}$; PRb= pasaje ruminal de la fracción b; U= fracción no degradable de la FDA.

La adición de los aditivos no modificó ($P < 0.05$) la concentración molar de acetato, propionato y butirato, ni el total de ácidos grasos volátiles, CH_2 o CO_2 . El porcentaje molar de acetato, propionato, butirato y la relación acetato: propionato tampoco fueron afectados ($P < 0.05$) por los aditivos (Cuadro 11).

El pH del líquido ruminal y el contenido de nitrógeno amoniacal fue similar ($P > 0.05$) entre tratamientos. Estos resultados confirman lo observado en estudios previos para

pH, nitrógeno amoniacal, contenido de acetato, butirato o la relación acetato: propionato (Newbold *et al.*, 2004; Gonzalez-Momita *et al.*, 2009; Malekhhahi *et al.*, 2014; Catalá-Gregori *et al.*, 2019) pero contrasta con estudios donde el malto de calcio incrementó la producción de propionato (Carro y Ranilla, 2003; Malekhhahi *et al.*, 2014) y redujo la proporción acetato: propionato (Carro y Ranilla, 2003). Contrastan también estudios con aceites esenciales de tomillo (2.50 g kg⁻¹ de la MS) que redujeron la proporción molar de propionato e incrementaron la relación acetato propionato (Ribeiro *et al.*, 2019).

Estudios previos han señalado que el malato de calcio tiene un efecto estimulante de la fermentación debido a cambios en la población bacteriana, por ser un metabolito intermediario en la ruta succinato-propionato en la bacteria *Selenomonas ruminantium*, entonces ésta bacteria utiliza el malato para transformarlo en propionato, cuando está en un medio rico en lactato (Martin 1998; Carro y Ranilla, 2003), como lo es la dieta de corderos de engorda. En interés por los aceites esenciales para modificar la fermentación ruminal radica en sus propiedades antimicrobianas contra bacterias gram positivas y gram negativas, por su carácter lipofílico que afecta la membrana celular; el grado de inhibición depende de la estructura química de los aceites, compuestos como timol, carvacrol, monoterpenos, han mostrado ser efectivos para inhibir el crecimiento de bacterias ruminales (Benchaar *et al.*, 2008).

La usencia de efectos entre los aditivos evaluados indican que las dosis de los aditivos empleadas en esta investigación pudieron no ser suficientes para cambiar la fermentación ruminal. Aunque otros estudios de referencias *in vitro* sugieren que los microorganismos ruminales pueden adaptarse a la mezcla de aceites esenciales que se esté empleando, lo cual puede explicar la ausencia de resultados de efectos en el metabolismo ruminal y el desempeño animal en estudios *in vivo* (Benchaar *et al.*, 2008).

Cuadro 11. Contenido de ácidos grasos volátiles (AGV), nitrógeno amoniacal (NH₃-N), metano (CH₄), bióxido de carbono (CO₂) y pH en líquido ruminal de ovejas adultas alimentadas con dietas adicionadas con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.

PARÁMETROS	TRATAMIENTO ^z				EEM ^y	Valor de P
	DB	AE	MC	AE+MC		
AGV (mmol L ⁻¹)						
Acetato	40.81	37.75	43.68	42.36	4.01	0.7551
Propionato	20.97	23.79	21.13	22.27	3.76	0.9452
Butirato	2.78	5.38	6.04	3.89	1.27	0.3467
AGV total	64.55	66.91	70.86	68.52	5.56	0.8735
CH ₄	15.23	14.44	17.71	16.50	1.86	0.6390
CO ₂	30.20	27.50	35.56	31.15	3.43	0.4730
AGV (% molar)						
Acetato	63.84	56.67	61.19	62.47	3.50	0.5427
Propionato	31.86	35.45	30.61	31.56	4.59	0.8835
Butirato	4.30	7.88	8.20	5.97	1.52	0.3228
Acetato: Propionato	1.78	1.32	1.78	1.73	0.39	0.8056
pH ruminal	5.98	6.15	5.75	6.08	0.13	0.2591
NH ₃ -N, mg 100 mL ⁻¹	9.71	9.07	6.19	7.74	0.33	0.7730

^{ab}Medias en la misma fila con distinta literal son significativamente diferentes (P < 0.05). ^zDB= sin aditivos; AE= mezcla de aceites esenciales (cinamaldehído, carvacrol, timol, eucaliptol); MC= malato de calcio; AE+MC= combinación de aceites esenciales y malato de calcio. ^yEEM = error estándar de la media.

La producción de CH₄ y CO₂ *in vitro* fue afectada (P = 0.03) por adición de los aditivos (Cuadro 12). La dieta con aceites esenciales redujo (P < 0.05) la producción CH₄ comparada con la dieta con aceites esenciales y malato de calcio, pero fue similar a los otros tratamientos. La producción de CO₂ fue mayor (P < 0.05) en la dieta con aceites esenciales, comparada con la dieta que tenía la combinación de aceites esenciales y malato de calcio, pero similar a las otras dietas.

Cuadro 12. Producción de metano (CH₄) y bióxido de carbono (CO₂) *in vitro* de dietas adicionadas con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.

PARÁMETROS	TRATAMIENTO ^Z				EEM ^Y	Valor de P
	DB	AE	MC	AE+MC		
CH ₄ , mL 100 mL ⁻¹ de gas	6.66 ^{ab}	5.62 ^b	6.05 ^{ab}	6.85 ^a	0.29	0.0288
CO ₂ , mL 100 mL ⁻¹ de gas	93.34 ^{ab}	94.38 ^a	93.95 ^{ab}	93.15 ^b	0.29	0.0288

^{ab}Medias en la misma fila con distinta literal son diferentes (P < 0.05). ^ZDB= dieta sin aditivos; AE= mezcla de aceites esenciales (cinamaldehído, carvacrol, timol, eucaliptol); MC= malato de calcio; AE+MC= combinación de aceites esenciales y malato de calcio. ^YEEM = error estándar de la media.

Varias investigaciones con cultivos *in vitro* han reportado que aceites esenciales derivados del tomillo, orégano, canela, ajo, rábano y frángula reducen la producción de CH₄ *in vitro* en una forma dosis dependiente, aunque la inhibición ocurre a dosis altas (>300 mg L⁻¹ de fluido de cultivo), infiriendo que estos compuestos ejercen un efecto sobre las bacterias metanógenas (Benchaar y Greathead, 2011).

Carro y Ranilla (2003) observaron que en un cultivo *in vitro* la adición de 10 mmol L⁻¹ de malato de calcio redujo la producción de CH₄ e incrementó la producción de CO₂. Tales resultados contrastan con esta investigación donde el malato no redujo la producción de CH₄ y cuando se combinó con aceites esenciales la producción de CH₄ fue incrementada.

Es importante resaltar que la producción de CH₄ en el estudio *in vivo* no coincidió con la reducción en la producción de metano *in vitro* en las dietas que contenían aceites esenciales, probablemente por la capacidad de los microorganismos ruminales de adaptarse y degradación estos metabolitos secundarios de origen vegetal (Benchaar y Greathead, 2011) por lo que son necesarias más investigaciones para identificar cual es la dosis de aceites esenciales que puede ser usada de manera práctica para reducir la producción de CH₄ *in vivo*.

2.6 CONCLUSIONES

Se encontró que la adición de aceites esenciales, pero no su combinación con malato de calcio, tiene el potencial de incrementar la degradabilidad efectiva de la fracción insoluble, pero potencialmente degradable de la MS y reducir la producción de CH₄ in vitro de dietas altas en almidón para corderos en etapa de finalización.

CAPÍTULO III. CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON ACEITES ESENCIALES Y MALATO DE CALCIO

3.1 RESUMEN

Los extractos de plantas y ácidos orgánicos se han estudiados como una alternativa al uso de antibióticos para mejorar la producción animal, salud y la calidad de la carne. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de una mezcla de aceites esenciales (AE), malato cálcico (MC) o su combinación (AE+MC) en las características físico-químicas de la carne de corderos. Treinta y seis corderos cruce comercial de cuatro meses de edad, se distribuyeron aleatoriamente en cuatro tratamientos: T1, control (CTL) una dieta basal (DB) sin aditivos; T2, DB + 150 g de AE t⁻¹; T3: DB + 2.5 kg de MC t⁻¹; y T4: DB + 150 g AE + 2.5 kg t⁻¹ MC. Los aditivos no modificaron ($P > 0.05$) la composición química de la carne. El contenido del ácido graso C20: 5 n-3 en el grupo AE+MC fue mayor ($P < 0.05$) que en el grupo AE, aunque similar a los demás tratamientos. La carne del grupo AE+MC tuvo un contenido total de ácidos grasos ω_3 mayor ($P < 0.05$) que los grupos AE o MC, pero similar al grupo CTL. La proporción de ácidos grasos poliinsaturados y ácidos grasos saturados no fue diferente ($P > 0.05$) entre tratamientos. El color de la carne no fue afectado ($P > 0.05$) por los tratamientos. La fuerza de corte de la carne cocida fue menor ($P < 0.05$) en el grupo AE que en CTL y MC. La conclusión es que los AE o AE+MC tienen el potencial para incrementar la terneza y la concentración de ácidos grasos insaturados de la carne de corderos, pero no afectan el color o composición química.

Palabras clave: composición química, suavidad, ácidos grasos, color de la carne.

CHARACTERISTICS OF LAMBS SUPPLEMENTED WITH ESSENTIAL OILS AND CALCIUM MALATE

3.2 ABSTRACT

Plant extracts and organic acids have been studied as alternatives to the antibiotics to increase animal performance, health and meat quality. The objective of this study was to determine the effect of a mixture of essential oils (EO), calcium malate (CM) or their combination (EO+MC) on physical-chemical characteristics of lamb meat. Thirty-six four-month-old commercial cross lambs were randomly distributed in four treatments: T1, control (CTL) with a basal diet (BD) without additives; T2, BD + 150 g EO t⁻¹; T3, BD + 2.5 kg CM t⁻¹; and T4, BD + 150 g EO + 2.5 kg CM t⁻¹. Feed additives addition did not modify ($P > 0.05$) meat chemical composition. The fatty acid C20: 5 n-3 content in EO+MC was higher ($P < 0.05$) than the EO treatment, although similar to the others. The EO+CM group meat had ω 3 fatty acids total content higher ($P < 0.05$) than EO or CM groups, but it was similar to CTL group. The proportion of polyunsaturated fatty acids and saturated fatty acids was no different ($P > 0.05$) between treatments. Meat color was not affected ($P > 0.05$) by the treatments. The cutting force of cooked meat was reduced ($P < 0.05$) in EO compared to CTL and CM. The conclusion is that EO or EO+CM have the potential to increase tenderness and the unsaturated fatty acids in without affecting the color or chemical composition.

Keywords: Chemical composition, tenderness, fatty acids, meat color.

3.3 INTRODUCCIÓN

La demanda de proteínas de origen animal se incrementará a medida que aumente la población mundial, la cual se proyecta que supere los 9 mil millones en 2050. En países desarrollados, el consumo de carne de rumiantes tiende a reducirse por consideraciones de la salud humana y medio ambientales; sin embargo, el consumo en algunos otros países como China, India, Rusia, México y Brasil, la población, al tener mejores ingresos se convierte en clase media que busca adquirir más y mejores productos para su consumo como la carne, leche y queso (Chrilki y Hocquette, 2020). Sin embargo, a medida que la población tiene acceso al consumo de carne, pone más énfasis en su calidad en términos de color, suavidad, jugosidad (Mancini y Hunt, 2005; Garmyn, 2020;), y composición nutricional, en especial el nivel de ácidos grasos saturados que puede afectar la salud humana (Junkuszew *et al.*, 2020).

En la finalización de corderos con dietas altas en almidón se usan aditivos modificadores de la fermentación ruminal, como la monensina sódica y otros antibióticos ionóforos (Castillo *et al.*, 2004). Estos compuestos previenen la aparición de enfermedades metabólicas como la acidosis y pueden incrementar la eficiencia de utilización de la dieta con mejor conversión alimenticia, ganancia de peso y rendimiento de la canal (García-Galicia *et al.*, 2020). Los aceites esenciales y las sales de ácidos orgánicos, como el malato de calcio, se evaluaron como sustitutos de los aditivos (ionóforos), pueden ser usados en la preservación de la salud ruminal y mejorar el comportamiento productivo animal (Ortuño *et al.* 2014; Malekkhahi *et al.*, 2015; Loya-Olguin *et al.*, 2019; García-Galicia *et al.* 2020 & Haro *et al.*, 2020) estos aditivos no antibióticos de acuerdo a los resultados publicados pueden modificar la composición química, el color, vida de anaquel, suavidad y mejorar el perfil de los ácidos grasos de la carne de corderos, cuando se les suministran.

Los resultados publicados con el uso aceites esenciales en la finalización de corderos, en las características físico-químicas de la carne, son muy variables. Smeti *et al.* (2013) no observaron efectos de los aceites esenciales de romero en la oxidación de lípidos, ni en la decoloración de la carne (coordenadas L*, a*, b*); sin embargo, en un estudio posterior Smeti *et al.*, (2018) administraron aceite esencial de romero (0.3 y 0.6 mL d⁻¹)

a corderos a través del concentrado o de forma directa vía oral. Los resultados no mostraron alteraciones en las coordenadas de color, pero los atributos sensoriales (sabor y aceptabilidad) fueron mejorados, además, se incrementó el nivel de ácidos grasos poliinsaturados y el nivel de $\omega 6$. Por su parte, Ortuño *et al.* (2014), administraron dosis crecientes (0, 200 y 400 mg kg⁻¹ de alimento) de extracto de romero a dietas de corderos y observaron que la decoloración, oxidación de lípidos y contaminación microbiana se redujeron, y se extendió la vida en anaquel de la carne. Simitzis *et al.* (2008) administraron aceite esencial de orégano a corderos en dosis de 1 mL kg⁻¹ y observaron que se redujo la oxidación de lípidos en la carne y se mejoró el color, pero no la suavidad. En contraste, Garcia-Galicia *et al.* (2020) reportaron mayor suavidad de la carne al administrar aceite esencial de orégano en dosis de 0.2, 0.3 y 0.4 g kg⁻¹ MS. Los estudios de malato de calcio y su efecto en la calidad de la carne son escasos. Haro *et al.* (2020) usaron ácido málico en dietas de corderos en finalización y reportaron una mejora en las coordenadas de color (a* y C*) pero no fue modificada la composición química, pH o el perfil de ácidos grasos de la carne. Considerando los pocos estudios publicados del malato de calcio en la calidad de la carne, y de los aceites esenciales, los estudios más recientes se han hecho sólo con extractos individuales de romero y orégano, resulta interesante evaluar si una mezcla de varios extractos de aceites esenciales, solos o combinados con malato de calcio, pueden potencializar el efecto benéfico en la calidad de la carne. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto del malato de calcio, aceites esenciales (timol, carvacrol, eucaliptol y cinamaldehído) y su combinación, en las características físico-químicas relacionadas con la calidad de la carne de corderos finalizados con dietas altas en grano.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se condujo de acuerdo con lo establecido en el reglamento de uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados y la Norma Mexicana para el Cuidado de Animales (NOM-062-ZOO-1999).

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Granja Experimental del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, México. La ubicación geográfica es 19° 28 4.26 LN, y 98° 53 42.18 LO, a una altitud de 2250 m, y una temperatura media anual de 15.2°C (García, 2004).

Se usaron 36 corderos machos con un peso vivo (PV) inicial de 20 ± 3 kg y 4 meses de edad. Los corderos fueron alojados en forma aleatoria (aleatorizados de acuerdo, a su peso inicial, en bloques completos al azar) en corraletas individuales bajo techo de 1.50 × 2 m, con piso de cemento y cama de aserrín, provistos de comedero individual y agua limpia y fresca (botes de 20 L). Estos animales se desparasitaron con 1 mL 50 kg^{-1} PV de Ivermectina (Ivomec F®) subcutánea, previo al inicio del experimento. Así mismo, tuvieron un periodo de adaptación de 5 días a las dietas y pasaron 56 días en finalización. Los corderos fueron pesados al inicio y final del periodo experimental.

3.4.1 Dietas experimentales

Se formuló una dieta basal (DB) para cubrir los requerimientos nutricionales para una ganancia diaria de peso de 300 g d^{-1} (NRC, 2007). A la DB se le adicionó la mezcla de aceites esenciales (AE) que contenía timol, carvacrol, eucaliptol y cinamaldehído (AE; Emerald®, Nutryplus, México), malato de calcio (MC; Rumalato®, Norel, México) y la combinación de estos (Cuadro 13). Los tratamientos fueron: 1) DB; 2) DB + 150 g t^{-1} AE; 3) DB + 2.5 kg t^{-1} MC y 4) DB + 150 g t^{-1} AE + 2.5 kg t^{-1} MC.

Cuadro 13. Ingredientes y aporte nutrimental dieta basal.

Ingrediente	Aporte (g kg⁻¹ MS)
Maíz harina 60% fino	304
Sorgo harina	300
Pasta de soya 44%	169
Rastrojo maíz	150
Melaza de caña al 49%	50
†Vitalal ovino Plus engorda ®	20
Grasa de sobrepaso	5
Composición química	
Materia Seca (g kg ⁻¹ MS)	880.0
Proteína cruda (g kg ⁻¹ de MS)	150.0
Energía metabolizable (MJ kg ⁻¹ de MS)	11.3
Fibra detergente ácido (g kg ⁻¹ de MS)	110.6
Fibra detergente neutro (g kg ⁻¹ de MS)	194.2
Extracto Etéreo (g kg ⁻¹ MS)	34.8
Calcio (g kg ⁻¹ de MS)	11.5
Fósforo (g kg ⁻¹ de MS)	4

†Composición declarada (g, mg, o UI kg⁻¹): 240 g de Ca; 30 g de P; 20 g de Mg; 80 g de Na; 120 g de Cl; 5 g de K; 5 g de S; 5 mg de Cr; 4000 mg de Mn; 2000 mg de Fe; 5,000 mg de Zn; 100 mg de I; 30 mg de Se; 60 mg de Co; 500,000 UI de vitamina A; 150,000 UI de vitamina D; 1,000 UI de vitamina E.

3.4.2 Sacrificio de los corderos y toma de muestras

Los corderos fueron pesados 24 h previo al sacrificio, y sacrificados en un rastro local, de acuerdo con lo establecido en el reglamento de uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados y a la Norma Mexicana para el Cuidado de Animales (NOM-062-ZOO-1999). Los corderos sacrificados fueron desollados y eviscerados manualmente. Los restos del sacrificio fueron embolsados, pesados y registrados. Las canales de los corderos fueron lavadas con agua potable y dejadas en ventilación por 2 h. Posteriormente, las canales se pesaron y se tomaron muestras de 7 cm de ancho de la media canal izquierda, entre la 11^a y 13^a costilla del músculo *Longissimus dorsi* con un peso promedio de 300 g, las cuáles se identificaron, envasaron en forma individual y se refrigeraron a 4°C para su posterior análisis. Las canales fueron envueltas en bolsas de polietileno y refrigeradas, para registrar su peso frío a las 24 h *post mortem*. Las variables que se determinaron en las muestras del *Longissimus dorsi*,

fueron pH, temperatura, análisis químico proximal, color, capacidad de retención de agua, fuerza al corte (carne cruda y cocida), pérdida de agua por cocción y concentración de ácidos grasos de cadena larga. El peso promedio del músculo *Longissimus dorsi* para cada muestra fue de 300 ± 3 g.

3.4.3 Temperatura y pH de la carne

La medición del pH y temperatura se realizó en diferentes áreas del músculo (*Longissimus dorsi*), a las 0 y 24 h *post mortem*. El pH se midió con un potenciómetro portátil con compensación de temperatura automática (HANNA® instruments, HI 99163, USA). Después, las muestras fueron divididas en dos porciones iguales, identificadas y almacenadas a -20 °C para análisis posteriores.

3.4.4 Composición química de la carne

Para determinar la composición química de la carne se pesaron muestras de 120 g del músculo *Longissimus dorsi* de cada cordero, se identificaron, homogenizaron y molieron en un molino para café (BRAUN®, México), y posteriormente se les determinó el contenido de grasa, humedad, proteína y colágeno, por medio de un equipo de espectroscopia de infrarrojo cercano NIR por sus siglas en inglés (FoodScan®, Foss, Dinamarca) en la región de 850 a 1050 nm equipado con una calibración de redes neuronales artificiales.

3.4.5 Color de la carne

A muestras de *Longissimus dorsi* de cada cordero se les eliminó el tejido graso manualmente, se hicieron tres mediciones del color por muestra a las 0, 3, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, y 192 h *post mortem*, con un colorímetro marca (Konica Minolta CM-700 d). Las coordenadas de color fueron expresadas siguiendo el sistema CIELab (Internationale Beleuchtungskommission, 2004) como “L” (luminosidad), “a” (coordenada

roja a verde), “b” (coordenada amarilla a azul). Los valores de croma (C^*) y ángulo hue (H^*) fueron calculados como: $C^* = (a^2 + b^2)^{0.5}$ y $H^* = \tan^{-1}(b/a)$, respectivamente.

3.4.6 Retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA), se determinó por el método de centrifugación (Leal y Jiménez, 2015). Se pesaron 5 g por triplicado de carne finamente picada y sin tejido graso, y se colocaron en tubos para centrífuga de 50 mL (Nalgen), se homogenizaron con 8 mL de solución de cloruro de sodio a 0.6 M, se agitaron con una varilla de vidrio y se colocaron los tubos en baño de hielo durante 30 minutos y en refrigeración a 4°C. Posteriormente, se centrifugaron durante 15 minutos a 15,652 g en una centrífuga (modelo J2-HS, BECKMAN), se recogió el sobrante por decantación y se midió el volumen final utilizando la siguiente fórmula: mL de NaCl 0.6 M/100 g de carne = $\left(V_i - \frac{V_s}{m}\right) 100$ donde: V_i = Volumen inicial de solución de NaCl 0.6 M (8ml); V_s = Volumen recuperado del sobrenadante (después de la centrifugación); m = Peso de la muestra (5 g). Los resultados se reportaron como los mL de solución retenida en 100 g de carne.

3.4.7 Pérdida de agua por cocción

El porcentaje de pérdida de agua por cocción (PPC) se determinó de acuerdo con lo propuesto por Bejerholm y Aaslyng (2004). Con la finalidad de evaluar una metodología próxima a lo que hace el consumidor, se hicieron filetes de 5 g y 1.5 cm de espesor de carne cruda de 24 h de maduración. Se pesaron y fueron cocidas en un sartén a 155°C, girando la carne cada 2 min hasta alcanzar una temperatura interna de 70°C, (la temperatura se midió introduciendo un termómetro). Posteriormente, las muestras se enfriaron durante 15 min a temperatura ambiente, (20 a 25 °C), y se pesaron. El PPC se calculó con la ecuación, donde P_i es el peso inicial de la muestra y P_f el peso final de la muestra.

$$PPC = \left(\frac{\left(\frac{P_i}{P_f} \right)}{P_i} \right) 100$$

3.4.8 Fuerza de corte

La fuerza o resistencia al corte de la carne cruda y cocida se midió por el método de Warner-Bratzler (WB) y se determinó de acuerdo con lo establecido por AMSA (1995). Los filetes se cocieron con la misma metodología descrita anteriormente para determinar la PPC. Los filetes de la carne cruda y cocida fueron perforados transversalmente (paralelo a las fibras musculares) en tres diferentes sitios. Se midió la fuerza de cizallamiento mediante una célula Warner-Bratzler (WB) con el borde cortante de ranura triangular montado en Salter Modelo 235 (cizalla de carne Warner-Bratzler, GR manufacturing Co. 1317 Collins LN, Manhattan, Kansas, 66502, EE. UU.) asociada a un texturometro (TAXT Express Standard, Stable Micro Systems Surrey, UK). Este método midió la fuerza necesaria (kg/cm^2) para cortar el bocado de carne. Los datos se expresaron en kg fuerza.

3.4.9 Contenido de ácidos grasos en la carne

La determinación de ácidos grasos (AG) de cadena larga en la carne se realizó de acuerdo con Jenkins (2010), con una esterificación y trans-esterificación catalizada por cloruro de hidrógeno metanólico al 5%. Las muestras de carne preparadas se analizaron mediante cromatografía de gases (Cromatógrafo de gases HP6890 con detector de FID, con inyector automático), con una columna cromatográfica ($100\text{ m} \times 0.25\text{ mm} \times 0.20\text{ }\mu\text{m}$; SUPELCO SP-2560). La identificación de los picos se hizo comparando los tiempos de retención de las incógnitas con la mezcla estándar SupelcoTM 37 Component FAME (Sigma). Los AG se cuantificaron como ésteres metílicos (FAME) (French *et al.*, 2000). Los FAME se separaron y determinaron mediante cromatografía de gases la cantidad de AG saturados (AGS), AG mono insaturados (AGMI) y AG poliinsaturados (AGPI). Se calcularon los índices de ácidos grasos de interés para la salud humana: $P/S = \text{proporción AGPI} / \text{AGS}$, $P/S2 = \text{proporción AGPI} / (\text{AGS}-\text{C18:0})$. Se restó el aporte del

C18:0 debido a que no es considerado y es hipercolesterolémico (Diaz *et al.*, 2005), ATT= potencial antitrombótico (C20:3+C20:5 n-3) / C20:4 n-6.

3.4.10 Análisis estadístico

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar. Todos los datos fueron analizados con la prueba de Shapiro-Wilk para determinar su normalidad. Los valores de composición química, perfil de ácidos grasos, fuerza de corte, capacidad de retención de agua y pérdidas por cocción de la carne fueron analizadas empleando el PROC GLM de SAS 9.4, con el tipo de dieta, bloque (con dos unidades experimentales por tratamiento dentro de bloque) y su interacción como efectos fijos. El modelo estadístico fue: $Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$; Donde: Y_{ijk} = la observación k en el tratamiento i y bloque j ; μ = la media general; τ_i = el efecto de tratamiento i ; β_j = el efecto del bloque j ; $(\tau\beta)_{ij}$ = el efecto de la interacción de tratamiento i y bloque j ; ε_{ijk} = es el error aleatorio con media 0 y varianza σ^2 .

Los datos de color de la carne se analizaron con el PROC MIXED de SAS 9.4 en un diseño de medidas repetidas en el tiempo donde el tipo dieta (TRAT: CTL, AE, MC, AE+MC), horas de almacenamiento (TIEMPO: 0 a 192 horas) y su interacción (TRAT×TIEMPO) fueron considerados como efectos fijos, mientras un cordero individual dentro de tratamiento se consideró como efecto aleatorio. La estructura de covarianza fue simetría compuesta. El modelo estadístico fue el siguiente: $Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \delta_{ij} + t_k + \beta_j + (\tau^*t)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$; Donde: μ = la media general; τ_i = el efecto de tratamiento i ; t_k = es el efecto del tiempo k ; $(\tau^*t)_{ik}$ = el efecto de la interacción entre tratamiento i y tiempo k ; δ_{ij} = error aleatorio con media 0 y varianza σ^2_q , la varianza entre animales (sujetos) dentro de tratamiento, igual a la covarianza entre medidas repetidas dentro de animales; ε_{ijk} = es el error aleatorio con media 0 y varianza σ^2 , la varianza entre medidas dentro de animales.

Cuando se detectaron diferencias la comparación de medias se realizó la prueba de Tukey considerando diferencias con $\alpha = 0.05$ y tendencias cuando $\alpha = 0.1$.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Composición química y pH de la carne

No hubo diferencias en la composición química de la carne ($P > 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 2). Los valores promedio de humedad, proteína y grasa coinciden con los reportado por Junkuszew *et al.* (2020). La ausencia de efectos de los aceites esenciales sobre la composición química de la carne de corderos ya ha sido reportada por Yagoubi *et al.* (2018), Smeti *et al.* (2018) y Rivaroli *et al.* (2016) en bovinos. Por su parte Haro *et al.* (2020) observaron que el ácido málico tampoco modifica la composición química de la carne de corderos. La ausencia de efectos en la composición química de la carne pudo deberse a que la dieta basal fue la misma para todos los tratamientos o bien porque las cantidades usadas de los aditivos no permitió que la fermentación ruminal se modificara lo suficiente para favorecer la tasa de deposición de grasa y proteína muscular, como se ha observado en otros estudios (Malekhhahi *et al.*, 2015).

El colágeno fue mayor ($P < 0.05$) en el tratamiento con aceites esenciales más malato de calcio que los grupos control y malato de calcio. El contenido de colágeno varía en función de la raza, aptitud productiva, precocidad y la edad, adicionalmente, en animales con alta tasa de crecimiento, la tasa de reposición de proteínas y de colágeno, también es alta (Rivaroli *et al.*, 2016). En este estudio los corderos del grupo control o suplementados con malato mostraron menor contenido de colágeno, probablemente relacionado con la menor ganancia de peso observada en el estudio de desempeño productivo (Ortiz *et al.*, 2021).

El pH inicial y 24 h *post mortem* fueron mayores ($P < 0.05$) en la carne de los corderos suplementados con aceites esenciales o aceites esenciales más malato de calcio (Cuadro 14Cuadro 14). Los valores de pH final son similares a los reportados por Yagoubi *et al.* (2018), pero inferiores a los reportados por Smeti *et al.* (2018). El pH *post mortem* es un parámetro muy importante en la calidad de la carne, ya que después de 24 h las reservas de glucógeno son agotadas y el pH se estabiliza (Yagoubi *et al.*, 2018).

El pH a 24 h *post mortem*, en un rango entre 5.57 y 5.6, se asocia a un color claro de la carne y evidencian un proceso de sacrificio adecuado, mientras que un pH mayor a 5.6,

se asocia con carnes oscuras, lo cual es común en animales pesados y estresados al sacrificio con menos reservas de glucógeno en el músculo (Smeti *et al.*, 2018). McGeehin *et al.* (2001) reportaron que los factores más importantes que afectan el pH a las 24 h *post mortem* son el sexo, peso de la canal fría ($R^2 = 0.80$) y, en menor medida, la edad y temperatura ambiental. El pH alto a las 24 h *post mortem* en la carne de corderos del grupo tratado con aceites esenciales o aceites esenciales más malato de calcio probablemente se asocie con el mayor ($P < 0.05$) peso de la canal fría (Ortiz *et al.*, 2021).

Cuadro 14. Composición química (g 100 g⁻¹) y pH de la carne de corderos suplementados con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.

PARÁMETROS	TRATAMIENTO ^Z				EEM ^X	Valor de P
	CTL	AE	MC	AE+MC		
n	9	9	9	9		
Humedad	71.91	71.31	71.79	71.72	0.35	0.66
Proteína	21.86	21.72	22.18	22.23	0.19	0.34
Grasa	4.77	5.31	4.57	4.19	0.36	0.18
Colágeno	1.43 ^b	1.49 ^{ab}	1.40 ^b	1.58 ^a	0.05	0.02
pH inicial 0 h	5.66 ^d	6.22 ^a	5.77 ^c	6.07 ^b	0.03	<0.0001
pH final 24 h	5.39 ^b	5.86 ^a	5.51 ^b	5.72 ^a	0.04	<0.0001

^{ab}Medias en la misma fila con distinta literal son diferentes ($P < 0.05$).

^ZCTL= dieta sin aditivos; AE= mezcla de aceites esenciales (timol, carvacrol, eucaliptol); MC= malato de calcio; AE+MC= combinación de aceites esenciales y malato de calcio. ^XEEM= error estándar de la media.

3.5.2 Perfil de ácidos grasos

No hubo diferencias ($P > 0.05$) en el contenido total de ácidos grasos de la carne de corderos. No se observaron diferencias ($P > 0.05$) en el contenido de ácidos grasos saturados, monoinsaturados o poliinsaturados entre tratamientos

(Cuadro 15). Sin embargo, el contenido de C20: 5 n-3 del grupo de corderos con aceites esenciales y malato de calcio fue 0.3% mayor ($P < 0.05$) que en el grupo solo con aceites esenciales. El contenido total de ácidos grasos ω_3 fue mayor ($P < 0.05$) en la carne de corderos suplementados con aceites esenciales y malato de calcio, pero no hubo diferencias ($P > 0.05$) en el contenido total de ácidos grasos ω_6 entre tratamientos.

Cuadro 15. Composición de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos) de la carne de corderos suplementados con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación (media \pm error estándar).

PARÁMETROS ^Y	TRATAMIENTO ^Z				Valor de P
	CTL	AE	MC	AE+MC	
n	6	8	7	7	
C14: 0	1.90 \pm 0.11	1.89 \pm 0.09	1.89 \pm 0.10	1.84 \pm 0.11	0.99
C16:0	22.07 \pm 0.54	23.44 \pm 0.48	22.70 \pm 0.51	23.07 \pm 0.51	0.35
C18: 0	15.72 \pm 0.59	14.79 \pm 0.52	16.33 \pm 0.56	15.06 \pm 0.56	0.27
C14: 1	0.06 \pm 0.01	0.05 \pm 0.01	0.05 \pm 0.01	0.06 \pm 0.01	0.53
C15: 1 n-5	0.37 \pm 0.03	0.40 \pm 0.03	0.40 \pm 0.03	0.33 \pm 0.03	0.40
C16: 1 n-7	2.15 \pm 0.09	2.24 \pm 0.08	2.11 \pm 0.08	2.21 \pm 0.08	0.67
C17: 0	1.69 \pm 0.15	1.68 \pm 0.14	1.82 \pm 0.15	1.48 \pm 0.15	0.47
C17: 1	1.36 \pm 0.10	1.17 \pm 0.08	1.15 \pm 0.09	1.22 \pm 0.09	0.41
C18: 1 n-9 <i>trans</i>	3.16 \pm 0.43	4.45 \pm 0.38	3.68 \pm 0.41	3.29 \pm 0.41	0.17
C18: 1 n-9 <i>cis</i>	42.04 \pm 1.03	40.96 \pm 0.91	40.68 \pm 0.97	40.99 \pm 0.97	0.79
C18: 2 n-6 <i>cis</i>	4.19 \pm 0.32	3.96 \pm 0.28	3.77 \pm 0.30	4.69 \pm 0.30	0.23
C18: 3 n-6	0.11 \pm 0.01	0.12 \pm 0.01	0.10 \pm 0.01	0.12 \pm 0.01	0.24
ALC	0.07 \pm 0.01	0.08 \pm 0.01	0.08 \pm 0.01	0.08 \pm 0.01	0.90
C20: 1 n-9	0.06 \pm 0.01	0.06 \pm 0.00	0.06 \pm 0.01	0.07 \pm 0.01	0.82
C20: 3 n-6	0.12 \pm 0.01	0.10 \pm 0.01	0.13 \pm 0.01	0.14 \pm 0.01	0.09
C20: 4 n-6	1.30 \pm 0.11	1.10 \pm 0.10	1.04 \pm 0.10	1.31 \pm 0.10	0.22
C20: 5 n-3	0.91 \pm 0.07 ^{ab}	0.77 \pm 0.06 ^b	0.83 \pm 0.07 ^{ab}	1.07 \pm 0.07 ^a	0.05
C20: 3 n-3	0.21 \pm 0.04	0.21 \pm 0.03	0.21 \pm 0.04	0.22 \pm 0.04	0.99
Total, AGS	39.69 \pm 0.63	39.80 \pm 0.56	40.92 \pm 0.60	39.66 \pm 0.60	0.43
Total, AGMI	51.26 \pm 0.77	50.96 \pm 0.68	50.43 \pm 0.73	49.67 \pm 0.73	0.48
Total, AGPI	7.17 \pm 0.52	6.00 \pm 0.46	6.23 \pm 0.49	7.76 \pm 0.49	0.10

PARÁMETROS ^Y	TRATAMIENTO ^Z				Valor de P
	CTL	AE	MC	AE+MC	
Total, ω9	47.45 ± 0.81	47.66 ± 0.76	46.52 ± 0.76	46.54 ± 0.76	0.64
Total, ω6	5.91 ± 0.39	5.61 ± 0.37	5.12 ± 0.37	6.33 ± 0.37	0.22
Total, ω3	1.12 ± 0.08 ^{ab}	0.98 ± 0.07 ^b	1.04 ± 0.07 ^b	1.37 ± 0.07 ^a	0.02
P/S ^X	0.18 ± 0.01	0.15 ± 0.01	0.15 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.08
P/S2 ^W	0.30 ± 0.02	0.24 ± 0.02	0.25 ± 0.02	0.32 ± 0.02	0.09
ATT ^V	0.85 ± 0.12	0.98 ± 0.13	0.99 ± 0.11	1.17 ± 0.11	0.32

^{ab}Medias en la misma fila con distinta literal son significativamente diferentes (P<0.05). ^ZCTL= dieta sin aditivos; AE= mezcla de aceites esenciales (timol, carvacrol, eucaliptol); MC= malato de calcio; AE+MC= combinación de aceites esenciales y malato de calcio; ^YALC = ácido linoleico conjugado; AGS= ácidos grasos saturados; AGMI= ácidos grasos monoinsaturados; AGPI= ácidos grasos poliinsaturados; ω3= omega 3; ω6= omega 6; ω9= omega 9. ^XP/S= proporción AGPI / AGS. ^WP/S2= proporción AGPI / (AGS-C18:0). ^VATT= potencial antitrombótico (C20:3+C20:5 n-3) / C20:4 n-6

La proporción P/S tendió a ser mayor ($P < 0.1$) en la grasa de los corderos con aceites esenciales más malato de calcio que en los demás tratamientos. La proporción AGPI/AGS en los corderos con aceites esenciales más malato de calcio tendió a ser mayor ($P < 0.1$) que la carne de los grupos con malato calcio o aceites esenciales pero similar al grupo control. El potencial antitrombótico (ATT) es un índice que toma en cuenta los roles específicos de los ácidos grasos individuales sobre la salud humana. En este estudio no se observaron diferencias entre tratamientos, con un valor promedio de 1, lo que coincide con valores reportados en la grasa intramuscular de corderos alimentados con dietas estándar, sin aditivos, de algunos países de América y Europa (Díaz *et al.*, 2005).

La concentración total de ácidos grasos $\omega 3$ fue mayor al 0.66% reportado por Haro *et al.* (2020), en corderos suplementados con ácido málico, pero inferior al 1.87% reportado por García-Galicia *et al.* (2020) en corderos suplementados con 0.4 g kg⁻¹ de MS de aceite esencial de orégano. Una baja proporción $\omega 6/\omega 3$ es deseable como medio para reducir las enfermedades crónicas de alta incidencia en sociedades occidentales y países en desarrollo (Junkuszew *et al.*, 2020).

En este estudio la relación $\omega 6/\omega 3$ del grupo control fue 5.3, pero en el grupo con aceites esenciales más malato fue 4.6. Junkuszew *et al.* (2020) encontraron una relación $\omega 6/\omega 3$ de 8.83 en corderos, pero en ovejas adultas la relación fue 4.5, similar a lo observado en esta investigación. La proporción $\omega 6/\omega 3$ depende principalmente de la nutrición y, en especial, de las fuentes de ácidos grasos y su metabolismo en rumen como lo reportaron Romero-Bernal *et al.* (2017) quienes suplementaron corderos con heno de ryegrass, harina de pescado o harina de soya.

El perfil de ácidos grasos predominantes en el rumen, dependiendo si los corderos se finalizan en pastoreo o con dietas altas en almidón y el tipo de modificador de la fermentación ruminal que se esté incluyendo en la dieta, también puede ser un factor a considerar (García-Galicia *et al.*, 2020). Una grasa con nivel alto de omega 3 y con una relación $\omega 6/\omega 3$ de 4, se ha asociado con un 70% de descenso en la mortalidad debida a

enfermedades cardiovasculares, y una relación de 2.5 reduce la proliferación de células cancerosas en el recto (Simopoulos, 2008).

3.5.3 Resistencia al corte

La fuerza de corte de la carne cocida de corderos suplementados con aceites esenciales fue menor ($P < 0.05$) a la del grupo control o con malato de calcio, pero similar al grupo tratado con aceites esenciales más malato de calcio. La fuerza de corte de la carne cruda fue mayor ($P < 0.05$) en el grupo testigo que en la de los corderos con aceites esenciales pero similar con los demás tratamientos (Cuadro 16 Cuadro 16).

Cuadro 16. Resistencia al corte, capacidad de retención de agua y pérdida de agua por cocción de la carne de corderos suplementados con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.

PARÁMETROS ^Y	TRATAMIENTO ^Z					Valor de P
	CTL	AE	MC	AE+MC	EEM ^X	
FCWB carne cocida, kg	3.56 ^a	2.60 ^b	3.39 ^a	3.10 ^{ab}	0.16	<0.01
FCWB carne cruda, kg	5.77 ^a	4.84 ^b	5.33 ^{ab}	5.24 ^{ab}	0.17	<0.01
CRA, %	24.73	27.47	27.20	27.53	1.20	0.33
PPC, %	33.13	33.37	37.07	33.15	1.42	0.19

^{ab}Medias en la misma fila con distinta literal son diferentes ($P < 0.05$). ^ZCTL= dieta sin aditivos; AE= mezcla de aceites esenciales Emerald® (timol, carvacrol, eucaliptol); MC= malato de calcio Rumalato®; AE+MC= combinación de Emerald® y Rumalato®. ^YFCWB= fuerza de corte Warner-Bratzler; CRA= capacidad de retención de agua; PPC pérdida de agua por cocción. ^XEEM= error estándar de la media.

La reducción de la fuerza de corte de la carne cocida de corderos suplementados con aceites esenciales coincide con lo reportado por García-Galicia *et al.* (2020) en corderos suplementados con 0.2, 0.3 y 0.6 g kg⁻¹ de MS aceite esencial de orégano; sin embargo, Simitsiz *et al.* (2008) no observaron diferencias con 1 mL kg⁻¹ de MS del mismo suplemento.

Algunos de los factores intrínsecos que afectan la textura de la carne son el contenido y solubilidad del colágeno, el diámetro del sarcómero, el contenido de grasa intramuscular y la proteólisis de las calpaínas durante la maduración (García-Galicia *et al.*, 2020). Es en esta investigación un análisis de contratos mostró que el contenido de grasa en la carne de los corderos suplementados con aceites esenciales tendió ($P = 0.06$) a ser

mayor en 18% que en los demás tratamientos, y esto podría en parte explicar la mayor suavidad de la carne de corderos del grupo aceites esenciales, ya que existe una asociación positiva entre el contenido de grasa y la suavidad de la carne (Watkins *et al.*, 2013).

No hubo diferencias ($P > 0.05$) en la capacidad de retención de agua o pérdida de agua por cocción de la carne entre tratamientos (Cuadro 4). Haro *et al.* (2020) no observaron diferencias en la capacidad de retención de agua de corderos suplementados con ácido málico. La suplementación con aceites esenciales de mirto o romero en corderos, ovejas o cabras tampoco afectaron la pérdida por cocción de la carne (ben Abdelmalek *et al.*, 2019; Smeti *et al.*, 2020). El pH de la carne afecta la pérdida de agua, incrementándose esta conforme el pH es más ácido (Atti *et al.*, 2013). En la presente investigación, el pH de la carne 24 h *post mortem* no mostró descensos drásticos.

3.5.4 Color de la carne

En la Figura 8 se muestra el comportamiento de los parámetros de color (L^* , a^* , b^* y C^*) de la carne en los diferentes tratamientos. No hubo diferencias ($P > 0.05$) en estos parámetros o interacciones tratamiento \times tiempo entre tratamientos. Sin embargo, el tiempo modificó ($P < 0.05$) todos los parámetros, lo cual coincide con lo reportado por Ortuño *et al.* (2014). La transformación gradual de la carne de un color rojo brillante a un color marrón fue reflejada en términos de las coordenadas CIELab con un incremento en L^* , b^* y H^* (Figura 9), acompañado con una reducción de a^* y C^* en la carne de todos los grupos.

La ausencia de efecto de los aceites esenciales, malato de calcio y su combinación en los parámetros de color de la carne coincide con lo reportado por Ortuño *et al.* (2014) quienes administraron extractos destilados de romero en dosis de 200 o 400 mg kg^{-1} de alimento a corderos en finalización de la raza Segureña y no observaron diferencias en los parámetros de color a los siete días. Smeti *et al.* (2018) tampoco observaron diferencias en los parámetros L^* , a^* , b^* , C^* y H^* medidos a las 24 h en corderos en finalización suplementados con aceites esenciales de romero, al igual que Yagoubi *et al.* (2018), quienes no reportaron diferencias en los parámetros L^* , a^* , b^* en la carne de

corderos suplementados con destilados de extracto de romero. Estos resultados contrastan con los de Haro *et al.* (2020) quienes observaron diferencias en los parámetros de color de la carne medidos a las 24 h, en corderos suplementados con ácido málico.

El color de la carne es afectado por numerosos factores como la raza, alimentación, edad, peso al sacrificio, estrés en el sacrificio y las condiciones de almacenamiento de la carne, entre otros (Haro *et al.*, 2020). En este estudio las condiciones de alimentación, raza, manejo en el proceso de finalización, y en el sacrificio fueron similares, por lo que se piensa que las dosis empleadas de aceites esenciales o malato de calcio no fueron suficientes para generar un cambio detectable.

El color de la carne es crucial para asegurar la apreciación positiva del consumidor, ya que éste normalmente asocia un color rojo brillante con carne fresca y de calidad (Wood *et al.*, 2008). En este estudio el parámetro L* tuvo un promedio de 40.8 indicando que fue una carne dentro de un rango de aceptabilidad media. Carne con valor de L* igual o superior a 34 es aceptable y una con L* cercana a 44 se considera el valor de aceptabilidad ideal para el 95% de los consumidores (Khlijji *et al.*, 2010).

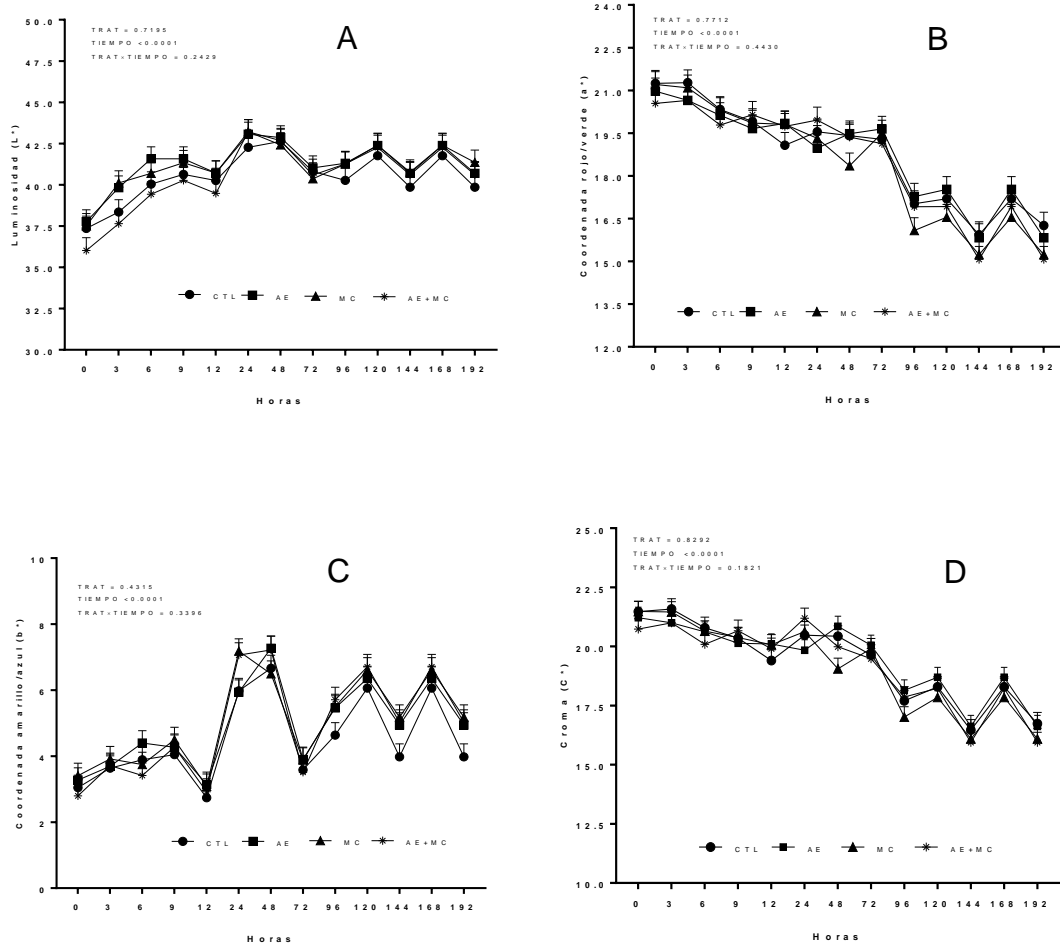


Figura 8. Coordenadas CIELab de color (Media \pm EEM), L*(A), a*(B), b*(C) y croma calculado (C*) (D) de carne de corderos suplementados con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.

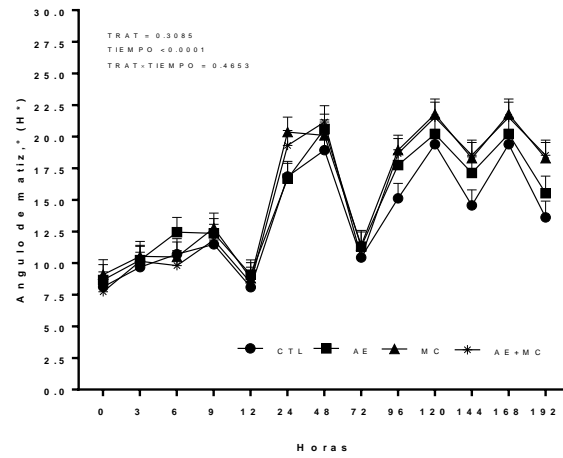


Figura 9. Ángulo de matiz (Media \pm EEM) de carne de corderos suplementados con aceites esenciales, malato de calcio y su combinación.

3.6 CONCLUSIONES

Los aceites esenciales solos o combinados con malato de calcio en la dieta de corderos en finalización, mejoran el pH de carne, aumentan la ternura de la carne cocida, incrementan el contenido total de ácidos grasos ω 3 en la grasa, sin modificar el color, composición química o capacidad de retención de agua, lo que significa que estos aditivos pueden mejorar la calidad de la carne de corderos.

CONCLUSIONES GENERALES

La finalización de corderos con dietas para alta ganancia diaria de peso puede mejorar en peso de la canal fría y rendimientos en canal caliente y fría sí a la dieta se le agrega una mezcla de aceites esenciales. Los componentes del proceso de finalización de corderos no se mejoran cuando la dieta para alta ganancia diaria de peso es adicionada con malato de calcio o su combinación con aceites esenciales. Los indicadores económicos fueron mejores en los corderos complementados con aceites esenciales; se encontró que la adición de aceites esenciales, pero no su combinación con malato de calcio, tiene el potencial de incrementar la degradabilidad efectiva de la fracción insoluble pero potencialmente degradable de la MS y reducir la producción de CH₄ *in vitro* de dietas altas en almidón para corderos en etapa finalización. Los aceites esenciales solos o combinados con malato de calcio en la dieta de corderos en finalización, mejoran el pH de carne, aumentan la ternura de la carne cocida, incrementan el contenido total de ácidos grasos ω₃ en la grasa. A la vez no modifica el color, composición química o capacidad de retención de agua. En cierta manera, estos aditivos pueden mejorar la calidad de la carne de corderos.

LITERATURA CITADA

- Akula, R., & Ravishankar, G. A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 6(11), 1720–1731. <https://doi.org/10.4161/psb.6.11.17613>
- AMSA (1995). Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness Measurements of fresh meat. Chicago: *American Meat Science Association (AMSA) & National Live Stock and Meat Board*.
- AOAC. (2005). Official Methods of analysis. Edition 18. *Association of Official Analytical Chemists*. Washington, 29 DC, EE.UU. 1928p.
- Association of Official Analytical Chemists*. (1990). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 2 (K. Helrich, Ed.; 15th. ed, Vol. 2). AOAC.
- Atti, N., Methlouthi, N., Saidi, C., & Mahouachi, M. (2013). Effects of extruded linseed on muscle physicochemical characteristics and fatty acid composition of lambs. *Journal of Applied Animal Research*, 41(4), 404–409. <https://doi.org/10.1080/09712119.2013.792730>
- Bach, A., Calsamiglia, S., & Stern, M. (2005). Nitrogen Metabolism in the Rumen. *Journal of Dairy Science*, 88, E9-E21. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(05\)73133-7](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(05)73133-7)
- ben Abdelmalek, Y., Smeti, S., Mekki, I., Hajji, H., Essid, I., & Atti, N. (2019). Rehabilitation of Barbarine cull ewes using rosemary residues and linseed: effect on weight gain, carcass characteristics and meat quality. *Animal*, 13(4), 879–887. <https://doi.org/10.1017/s175173111800215x>
- Benchaar, C., & Greathead, H. (2011). Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 338–355. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.024>
- Benchaar, C., & Greathead, H. (2011). Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 338–355. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.024>
- Benchaar, C., Calsamiglia, S., Chaves, A. V., Fraser, G. R., Colombatto, D., McAllister, T. A., & Beauchemin, K. A. (2008). A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1–4), 209–228.
- Bergen, W. G., & Bates, D. B. (1984). Ionophores: Their Effect on Production Efficiency and Mode of Action. *Journal of Animal Science*, 58(6), 1465–1483. <https://doi.org/10.2527/jas1984.5861465x>

- Blümmel, M., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (1997). In vitro gas production: A technique revisited. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 77(1-5), 24-34. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1997.tb00734.x>
- Blümmel, M., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (1997). In vitro gas production: A technique revisited. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 77(1-5), 24-34. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1997.tb00734.x>
- Bodas, R., Prieto, N., García-González, R., Andrés, S., Giráldez, F., & López, S. (2012). Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1-4), 78-93. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010>
- Broderick, G. A., Wallace, R. J., & Ørskov, E. R. (1991). 23 - Control of Rate and Extent of Protein Degradation. In T. Tsuda, Y. Sasaki, & R. Kawashima (Eds.), *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants* (pp. 541-592). San Diego: Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-702290-1.50030-8>
- Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Cardozo, P., & Kamel, C. (2005). Effects of Cinnamaldehyde and Garlic Oil on Rumen Microbial Fermentation in a Dual Flow Continuous Culture. *Journal of Dairy Science*, 88(7), 2508-2516. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(05\)72928-3](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(05)72928-3)
- Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Cardozo, P., & Kamel, C. (2005). Effects of Cinnamaldehyde and Garlic Oil on Rumen Microbial Fermentation in a Dual Flow Continuous Culture. *Journal of Dairy Science*, 88(7), 2508-2516. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(05\)72928-3](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(05)72928-3)
- Callaway, E., & Martin, S. (1997). Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* Culture on Ruminal Bacteria that Utilize Lactate and Digest Cellulose. *Journal of Dairy Science*, 80(9), 2035-2044. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(97\)76148-4](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(97)76148-4)
- Callaway, T. R., Dowd, S. E., Edrington, T. S., Anderson, R. C., Krueger, N., Bauer, N., Kononoff, P. J., & Nisbet, D. J. (2010). Evaluation of bacterial diversity in the rumen and feces of cattle fed different levels of dried distillers grains plus solubles using bacterial tag-encoded FLX amplicon pyrosequencing¹. *Journal of Animal Science*, 88(12), 3977-3983. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-2900>
- Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P., Castillejos, L., & Ferret, A. (2007). Invited Review: Essential Oils as Modifiers of Rumen Microbial Fermentation. *Journal of Dairy Science*, 90(6), 2580-2595. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-644>
- Carberry, C.A., D.A. Kenny, A.K. Kelly, y S.M. Waters. 2014. Quantitative analysis of ruminal methanogenic microbial populations in beef cattle divergent in phenotypic residual feed intake (RFI) offered contrasting diets. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 5:41. <http://doi:10.1186/2049-1891-5-41>

- Carro, M. D., & Ranilla, M. J. (2003). Effect of the addition of malate on in vitro rumen fermentation of cereal grains. *British Journal of Nutrition*, 89(2), 181–188. <https://doi.org/10.1079/bjn2002759>
- Carro, M. D., & Ranilla, M. J. (2003). Effect of the addition of malate on in vitro rumen fermentation of cereal grains. *The British Journal of Nutrition*, 89(2), 181–188. <https://doi.org/10.1079/BJN2002759>
- Carro, M. D., & Ranilla, M. J. (2003b). Influence of different concentrations of disodium fumarate on methane production and fermentation of concentrate feeds by rumen micro-organisms in vitro. *British Journal of Nutrition*, 90(3), 617–623. <https://doi.org/10.1079/bjn2003935>
- Carro, M.D., M.J. Ranilla, F.J. Giráldez, y A.R. Mantecón. 2006. Effects of malate on diet digestibility, microbial protein synthesis, plasma metabolites, and performance of growing lambs fed a high-concentrate diet¹. *Journal of Animal Science* 84:405–410. <https://doi:10.2527/2006.842405x>.
- Castillo, C., Benedito, J. L., Méndez, J., Pereira, V., López-Alonso, M., Miranda, M., & Hernández, J. (2004). Organic acids as a substitute for monensin in diets for beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 115(1–2), 101–116. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.02.001>
- Castillo, C., Benedito, J., Méndez, J., Pereira, V., López-Alonso, M., Miranda, M., & Hernández, J. (2004). Organic acids as a substitute for monensin in diets for beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 115(1–2), 101–116. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.02.001>
- Castillo-López, E., & Dominguez, M. G. (2019). Factors that affect the ruminal microbial composition and methods to determine microbial protein yield. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(1). <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4547>
- Castillo-Lopez, E., Jenkins, C., Aluthge, N., Tom, W., Kononoff, P., & Fernando, S. (2017). The effect of regular or reduced-fat distillers grains with solubles on rumen methanogenesis and the rumen bacterial community. *Journal of Applied Microbiology*, 123(6), 1381–1395. <https://doi.org/10.1111/jam.13583>
- Castillo-Lopez, E., Klopfenstein, T. J., Fernando, S. C., & Kononoff, P. J. (2013). In vivo determination of rumen undegradable protein of dried distillers grains with solubles and evaluation of duodenal microbial crude protein flow. *Journal of Animal Science*, 91(2), 924–934. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5323>
- Castillo-Lopez, E., Ramirez Ramirez, H., Klopfenstein, T. J., Anderson, C. L., Aluthge, N. D., Fernando, S. C., Jenkins, T., Kononoff, P. J. (2014). Effect of feeding dried distillers grains with solubles on ruminal biohydrogenation, intestinal fatty acid profile, and gut microbial diversity evaluated through DNA pyro-sequencing. *Journal of Animal Science*, 92 (2), 733–743. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7223>

- Catalá-Gregori, P., García, V., Hernández, F., Madrid, J., Megías, M. D., & Orengo, J. (2019). Effect of cinnamaldehyde on in vitro ruminal degradability and volatile fatty acids production. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(4), 361–372. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2079-34802019000400361&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Chaves, A.V., K. Stanford, M.E.R. Dugan, L.L. Gibson, T.A. McAllister, F. Van Herk, and C. Benchaar. 2008. Effects of cinnamaldehyde, garlic and juniper berry essential oils on rumen fermentation, blood metabolites, growth performance, and carcass characteristics of growing lambs. *Livestock Science* 117:215–224. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.12.013>.
- Chikwanha, O. C., Vahmani, P., Muchenje, V., Dugan, M. E., & Mapiye, C. (2018). Nutritional enhancement of sheep meat fatty acid profile for human health and wellbeing. *Food Research International*, 104, 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.005>
- Chriki, S., & Hocquette, J.-F. (2020). The myth of cultured meat: A review. *Frontiers in Nutrition*, 7, 7. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00007>
- Christie, W. W. (1993). Preparation of ester derivatives of fatty acids for chromatographic analysis. *Advances in lipid methodology*, 2(69), e111.
- Church, C. D. (1997). *El Rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición* (2nd ed., Vol. Apartado 466–50080). Zaragoza, España: ACRIBIA.
- Cicerone, R. J., & Oremland, R. S. (1988). Biogeochemical aspects of atmospheric methane. *Global Biogeochemical Cycles*, 2(4), 299–327. <https://doi.org/10.1029/gb002i004p00299>
- Cobellis, G., Acuti, G., Forte, C., Menghini, L., De Vincenzi, S., Orrù, M., Valiani, A., Pacetti, D., & Trabalza-Marinucci, M. (2015). Use of Rosmarinus officinalis in sheep diet formulations: Effects on ruminal fermentation, microbial numbers and in situ degradability. *Small Ruminant Research*, 126, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.01.018>
- Cobos, M. A., & Yokoyama, M. T. (1995). Clostridium paraputrificum var ruminantium: colonization and degradation of shrimp carapaces in vitro observed by scanning electron microscopy. *The International Livestock Research Institute*.
- Cobos, M. A., and M. T. Yokoyama. 1995. Clostridium paraputrificum var ruminantium: colonization and degradation of shrimp carapaces in vitro observed by scanning electron microscopy. *The International Livestock Research Institute, Addis Ababa, Ethiopia*. pp: 152-161.
- Cobos-Peralta, M. A., K. R. Curzaynz-Leyva., M. I. Rivas-Martínez., E. A. Santillán-Gómez, and J. R. Bárcena. (2018). In vitro effect of diets for growing lambs supplemented with dried distillers grains on rumen fermentation and gas emissions. *Agrociencia*, 52(2), 203-215.

- Cobos-Peralta, M. A., K. R. Curzaynz-Leyva., M. I. Rivas-Martínez., E. A. Santillán-Gómez, and J. R. Bárcena. (2018). *In vitro* effect of diets for growing lambs supplemented with dried distillers grains on rumen fermentation and gas emissions. *Agrociencia*, 52(2), 203-215.
- COMTRADE (2021). Resource Trade Earth. Retrieved December 10, 2021, from <https://resourcetrade.earth/data?year=2015&category=60&units=value>
- Consejo Mexicano de la Carne. 2018. Comprendió Estadístico. Recuperado de <https://comecarne.org>.
- Contreras, P. A., & Noro, M. (2010). Metabolismo Ruminal de las Proteínas. R. Pulido En Rumen (3a edición, Vol. 1, pp. 37–60). Valdivia, Chile: By imprenta América Ltda.
- Correa C.H.J. (2009). Estimación de la degradabilidad efectiva en el rumen mediante métodos numéricos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 22, 19-24.
- Correa, C. H. J. (2009). Estimación de la degradabilidad efectiva en el rumen mediante métodos numéricos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 22, 19–24.
- Cross, H., Durland, P., & Seideman, S. (1986). Sensory Qualities of Meat. *Muscle As Food*, 279–320. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-084190-5.50012-6>
- Cruz-González, M., Sánchez-Machado, D., López-Hernández, J., Munguia-Xochihua, J., Molina-Barrios, R., Rivera-Acuña, F., & Hernández-Chávez, J. (2014). Lamb meat fatty acids profile characterization employing gas chromatography. *Nacameh*, 8(1), 39–49.
- Czerkawski, J. W. (1976). Chemical composition of microbial matter in the rumen. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 27(7), 621–632. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740270707>
- Danielsson, R., Dicksved, J., Sun, L., Gonda, H., Müller, B., Schnürer, A., & Bertilsson, J. (2017). Methane Production in Dairy Cows Correlates with Rumen Methanogenic and Bacterial Community Structure. *Frontiers in Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00226>
- Delgadillo R. L., Bañuelos V. R., Gallegos F. P., Echavarría C. F., Meza L. C., & Gaytán S. N. (2021). Modificación de la fermentación ruminal in vitro para mitigación de metano mediante la adición de aceites esenciales de plantas y compuestos terpenoides. *Abanico Veterinario*, 11, 1-12.
- Dewhurst, R., Davies, D., & Merry, R. (2000). Microbial protein supply from the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 85 (1–2), 1–21. [https://doi.org/10.1016/s0377-8401\(00\)00139-5](https://doi.org/10.1016/s0377-8401(00)00139-5)
- Díaz, M., Álvarez, I., de la Fuente, J., Sañudo, C., Campo, M., Oliver, M., . . . Cañeque, V. (2005). Fatty acid composition of meat from typical lamb production systems of Spain, United Kingdom, Germany and Uruguay. *Meat Science*, 71(2), 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.020>

- Domesick, E. J., & Martin, S. A. (1999). Effects of laidlomycin propionate and monensin on the in vitro mixed ruminal microorganism fermentation. *Journal of Animal Science*, 77(8), 2305. <https://doi.org/10.2527/1999.7782305x>
- Evaluación diferencial de extractos de orégano en la producción de ácidos grasos volátiles y metano durante fermentación ruminal in vitro. (2019). *Abanico Veterinario*, 9(1). <https://doi.org/10.21929/abavet2019.91>
- Evans, J. D., & Martin, S. A. (1997a). Factors affecting lactate and malate utilization by *Selenomonas ruminantium*. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(12), 4853–4858. <https://doi.org/10.1128/aem.63.12.4853-4858.1997>
- Evans, J. D., & Martin, S. A. (2002b). Cloning of the L-Lactate Dehydrogenase Gene from the Ruminal Bacterium *Selenomonas ruminantium* HD4. *Current Microbiology*, 44(3), 155–160. <https://doi.org/10.1007/s00284-001-0082-9>
- Faostat (2021). FAOSTAT. Retrieved December 11, 2021, from <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Field, R., McCormick, R., Balasubramanian, V., Sanson, D., Wise, J., Hixon, D., Riley, M., & Russell, W. (1997). Tenderness variation among loin steaks from A and C maturity carcasses of heifers similar in chronological age. *Journal of Animal Science*, 75(3), 693. <https://doi.org/10.2527/1997.753693x>
- Flores, C., R. Caja, R. Romero, and J. Mesía. 2003. Efectos del malato (Rumalato®) en piensos de engorde de cebada o maíz: II. Digestibilidad de nutrientes. Pages 747–749 in X Jornadas sobre Producción Animal. ITEA Vol Extra N°. 24 tomo II, Zaragoza, España. Disponible en: https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/jornadas/2003/comunicaciones/2003_NyA_53.pdf
- Galindo J., Elías A., Muñoz E., Marrero Y., Gonzalez N., y Sosa A. (2017). Activadores ruminales, aspectos generales y sus ventajas en la alimentación de animales rumiantes. *Cuban Journal of Agricultural Science*, Volume 51, Number 1, 11.
- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México. p. 91.
- García-Galicia, I. A., Arras-Acosta, J. A., Huerta-Jimenez, M., Rentería-Monterrubio, A. L., Loya-Olguin, J. L., Carrillo-Lopez, L. M., Tirado-Gallegos, J.M., Alarcon-Rojo, A. D. (2020). Natural Oregano Essential Oil May Replace Antibiotics in Lamb Diets: Effects on Meat Quality. *Antibiotics*, 9(5), 248. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9050248>
- Garmyn, A. (2020). Consumer preferences and acceptance of meat products. *Foods (Basel, Switzerland)*, 9(6), 708. <https://doi.org/10.3390/foods9060708>
- Geuther, R. (1977). A. L. LEHNINGER, Biochemistry. The Molecular Basis of Cell Structure and Function (2nd Edition). 1104 S., zahlr. Abb., zahlr. Tab. New York

1975. Worth Publ. Inc. \$ 17.50. Zeitschrift für allgemeine Mikrobiologie, 17(1), 86–87. <https://doi.org/10.1002/jobm.19770170116>
- Giannenas, I., J. Skoufos, C. Giannakopoulos, M. Wiemann, O. Gortzi, S. Lalas, y I. Kyriazakis. 2011. Effects of essential oils on milk production, milk composition, and rumen microbiota in Chios dairy ewes. *Journal of Dairy Science* 94:5569–5577. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4096>.
- González, N., Galindo, J., Aldana, A. I., Moreira, O. & Sarduy, L. (2011). “Effect of four mulberry (*Morus alba* Linn.) varieties on microbial population and fermentative products with rumen liquid from river buffaloes (*Bubalus bubalis*) under in vitro conditions”. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 45(4).
- Gonzalez-Momita, M. L., Kawas, J. R., García-Castillo, R., Gonzalez-Morteo, C., Aguirre-Ortega, J., Hernandez-Vidal, G., Fimbres-Durazo, H., Picón-Rubio, F. J., & Lu, C. D. (2009). Nutrient intake, digestibility, mastication and ruminal fermentation of Pelibuey lambs fed finishing diets with ionophore (monensin or lasalocid) and sodium malate. *Small Ruminant Research*, 83(1–3), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.11.008>
- Gonzalez-Momita, M.L., J.R. Kawas, R. García-Castillo, C. Gonzalez-Morteo, J. Aguirre-Ortega, G. Hernandez-Vidal, H. Fimbres-Durazo, F.J. Picón-Rubio, y C.D. Lu. 2009. Nutrient intake, digestibility, mastication and ruminal fermentation of Pelibuey lambs fed finishing diets with ionophore (monensin or lasalocid) and sodium malate. *Small Ruminant Research* 83:1–6. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.11.008>.
- Gottschalk, G. (1986). Bacterial Metabolism. Springer Series in Microbiology. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1072-6>
- Guerrero L. I., Pérez C. M. L., Ponce A. E. 2002. Curso práctico de tecnología de carnes y pescado. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa, México, D.F.
- Güney, M., Karaca, S., Erdogan, S., Kor, A., Kale, C., Onalan, S., Demirel, M. Bingol, N. T. (2021). Effects of dietary supplementation with rosemary oil on methanogenic bacteria density, blood and rumen parameters and meat quality of fattening lambs. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 794–805. <https://doi.org/10.1080/1828051x.2021.1906165>
- Gutiérrez B., O. (2015). La fisiología digestiva del rumiante, objeto de investigación en el Instituto de Ciencia Animal durante cincuenta años. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49 (2), 179-188.
- Haro, A., de Evan, T., de la Fuente Vázquez, J., Díaz, M. T., González Cano, J., & Carro, M. D. (2020). Effect of a Diet Supplemented with Malic Acid–Heat (MAH) Treated Sunflower on Carcass Characteristics, Meat Composition and Fatty Acids Profile in Growing Lambs. *Animals*, 10(3), 487. <https://doi.org/10.3390/ani10030487>

- Hristov, A. N., & Broderick, G. A. (1996a). Synthesis of Microbial Protein in Ruminally Cannulated Cows Fed Alfalfa Silage, Alfalfa Hay, or Corn Silage. *Journal of Dairy Science*, 79(9), 1627–1637. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(96\)76526-8](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(96)76526-8)
- Hristov, A. N., Oh, J., Firkins, J. L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H., Adesogan, A., Yang, W., Lee, C., Gerber, P., Henderson, B., Tricarico, J. M. (2013b). SPECIAL TOPICS — Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options¹. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5045–5069. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583>
- Hussein, H. S., Merchen, N. R., & Fahey, G. C. (1995). Composition of ruminal bacteria harvested from steers as influenced by dietary forage level and fat supplementation. *Journal of Animal Science*, 73(8), 2469–2473. <https://doi.org/10.2527/1995.7382469x>
- Internationale Beleuchtungskommission (Ed.). (2004). Sunscreen testing (Uv. B): Technical report ([Nachdr. der Ausg.] 1991). CIE Central Bureau.
- Ivan, M., Neill, L., Forster, R., Alimon, R., Rode, L., & Entz, T. (2000). Effects of *Isotricha*, *Dasytricha*, *Entodinium*, and Total Fauna on Ruminal Fermentation and Duodenal Flow in Wethers Fed Different Diets. *Journal of Dairy Science*, 83(4), 776–787. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(00\)74940-x](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(00)74940-x)
- Junkuszew, A., Nazar, P., Milerski, M., Margetin, M., Brodzki, P., & Bazewicz, K. (2020). Chemical composition and fatty acid content in lamb and adult sheep meat. *Archives Animal Breeding*, 63(2), 261–268. <https://doi.org/10.5194/aab-63-261-2020>
- Kay, R. N. B. (1994). Quantitative Aspects of Ruminant Digestion & Metabolism, eds J. M. Forbes & J. France. ix + 515 pp. Wallingford: CAB International (1993). £65.00 (hardback). ISBN 0 85198 831 8. *The Journal of Agricultural Science*, 122(1), 170. <https://doi.org/10.1017/s0021859600065989>
- Khlijji, S., van de Ven, R., Lamb, T., Lanza, M., & Hopkins, D. (2010). Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour. *Meat Science*, 85(2), 224–229. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.01.002>
- Kim, S. H., Mamuad, L. L., Jeong, C. D., Choi, Y. J., Lee, S. S., Ko, J. Y., & Lee, S. S. (2013). *In vitro* Evaluation of Different Feeds for Their Potential to Generate Methane and Change Methanogen Diversity. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(12), 1698–1707. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13260>
- Kinnucan, H. W., Xiao, H., Hsia, C., & Jackson, J. D. (1997). Effects of Health Information and Generic Advertising on U.S. Meat Demand. *American Journal of Agricultural Economics*, 79(1), 13–23. <https://doi.org/10.2307/1243939>
- Kohn, R. A. (2015). RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM: The impact of the rumen microbiome on nutrition, health, and production¹. *Journal of Animal Science*, 93(4), 1429–1430. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-8990>

- Kumar, S., Indugu, N., Vecchiarelli, B., & Pitta, D. W. (2015). Associative patterns among anaerobic fungi, methanogenic archaea, and bacterial communities in response to changes in diet and age in the rumen of dairy cows. *Frontiers in Microbiology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00781>
- Li, M., Penner, G., Hernandez-Sanabria, E., Oba, M., & Guan, L. (2009). Effects of sampling location and time, and host animal on assessment of bacterial diversity and fermentation parameters in the bovine rumen. *Journal of Applied Microbiology*, 107(6), 1924–1934. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04376.x>
- Lima, F. S., Oikonomou, G., Lima, S. F., Bicalho, M. L. S., Ganda, E. K., de Oliveira Filho, J. C., Griffiths, M. W. (2015). Prepartum and Postpartum Rumen Fluid Microbiomes: Characterization and Correlation with Production Traits in Dairy Cows. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(4), 1327–1337. <https://doi.org/10.1128/AEM.03138-14>
- Liu, Q., Wang, C., Yang, W. Z., Dong, Q., Dong, K. H., Huang, Y. X., Yang, X. M., & He, D. C. (2009). Effects of malic acid on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Animal*, 3(1), 32-39. <https://doi.org/10.1017/S1751731108003364>
- Loya-Olguin, J. L., Ávila Ramos, F., Martínez González, S., García Galicia, I. A., Alarcón Rojo, A. D., & Escalera Valente, F. (2019). DL-malic acid supplementation improves the carcass characteristics of finishing Pelibuey lambs. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 10(2), 460–472. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4454>
- Malekkhahi, M., Tahmasbi, A. M., Naserian, A. A., Danesh Mesgaran, M., Kleen, J. L., & Parand, A. A. (2015). Effects of essential oils, yeast culture and malate on rumen fermentation, blood metabolites, growth performance and nutrient digestibility of Baluchi lambs fed high-concentrate diets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 99(2), 221–229. <https://doi.org/10.1111/jpn.12230>
- Mancini, R., & Hunt, M. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100–121. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>
- Martin, S. A. (1994a). Nutrient transport by ruminal bacteria: a review. *Journal of Animal Science*, 72(11), 3019–3031. <https://doi.org/10.2527/1994.72113019x>
- Martin, S. A. (1998). Manipulation of ruminal fermentation with organic acids: A review. *Journal of Animal Science*, 76(12), 3123.
- Martin, S. A. (2004b). Effects of DL-Malate on In Vitro Forage Fiber Digestion by Mixed Ruminal Microorganisms. *Current Microbiology*, 48(1), 27–31. <https://doi.org/10.1007/s00284-003-4081-x>
- Martin, S. A., & Streeter, M. N. (1995). Effect of malate on in vitro mixed ruminal microorganism fermentation. *Journal of Animal Science*, 73(7), 2141–2145. <https://doi.org/10.2527/1995.7372141x>

- Martínez-González, S., F. Escalera-Valente, A.A. Gómez-Danés, A. Plascencia, J.L. Loya-Olguin, J.C. Ramirez-Ramirez, A. Barreras, Y.S. Valdés-García, y J. Aguirre-Ortega. 2015. Influence of levels of DL-malic acid supplementation on milk production and composition in lactating Pelibuey ewes and pre-weaning weight gain of their suckling kids. *Journal of Applied Animal Research* 43(1): 92-96. <https://doi:10.1080/09712119.2014.899496>
- McCullough, H. (1967). The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta*, 17(2), 297-304. [https://doi.org/10.1016/0009-8981\(67\)90133-7](https://doi.org/10.1016/0009-8981(67)90133-7)
- McCullough, H. (1967). The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta*, 17(2), 297-304. [https://doi.org/10.1016/0009-8981\(67\)90133-7](https://doi.org/10.1016/0009-8981(67)90133-7)
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., & Sinclair, L. A. (2011). *Animal Nutrition* (7.a ed.). x, Reino Unido: Prentice Hall.
- McGeehin, B., Sheridan, J. J., & Butler, F. (2001). Factors affecting the pH decline in lamb after slaughter. *Meat Science*, 58(1), 79–84. [10.1016/s0309-1740\(00\)00134-0](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(00)00134-0)
- McGuffey, R., Richardson, L., & Wilkinson, J. (2001). Ionophores for Dairy Cattle: Current Status and Future Outlook. *Journal of Dairy Science*, 84, E194-E203. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(01\)70218-4](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(01)70218-4)
- McGuffey, R., Richardson, L., & Wilkinson, J. (2001). Ionophores for Dairy Cattle: Current Status and Future Outlook. *Journal of Dairy Science*, 84, E194-E203. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(01\)70218-4](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(01)70218-4)
- Medjekal, S., Bodas, R., Bousseboua, H., & López, S. (2017). Evaluation of three medicinal plants for methane production potential, fiber digestion and rumen fermentation *in vitro*. *Energy Procedia*, 119, 632–641. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.089>
- Mendoza M., G. D., Plata P., F. X., Ramírez M., M., Mejia D., M. A., Lee R., H., & Bárcena G., R. (2007). Evaluación de alimentos integrales para el engorde intensivo de ovinos. *Revista Científica*, 17 (1), 66-72. Recuperado en 03 de febrero de 2022, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-22592007000100010&lng=es&tlng=es.
- Millet, S., & Maertens, L. (2011). The European ban on antibiotic growth promoters in animal feed: From challenges to opportunities. *The Veterinary Journal*, 187(2), 143–144. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2010.05.001>
- Millet, S., & Maertens, L. (2011). The European ban on antibiotic growth promoters in animal feed: From challenges to opportunities. *The Veterinary Journal*, 187(2), 143–144. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2010.05.001>

- Mom, O. & An, E. (2018). Meat content and chemical composition of EL Gash sheep. *MOJ Food Processing & Technology*, 6(4). <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2018.06.00195>
- Morgavi, D., Forano, E., Martin, C., & Newbold, C. (2010). Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, 4(7), 1024–1036. <https://doi.org/10.1017/s1751731110000546>
- Moura, L., Oliveira, E., Fernandes, A., Gabriel, A., Silva, L., Takiya, C., Consolo, G., Lemos, T., Gandra, J. (2017). Feed efficiency and carcass traits of feedlot lambs supplemented either monensin or increasing doses of copaiba (*Copaifera* spp.) essential oil. *Animal Feed Science and Technology*, 232, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.08.006>
- Mungóí, M., Flores, C., Casals, R., & Caja, G. (2012). Effect of malate and starch source on digestibility and nutrient balance of growing-fattening lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 174(3–4), 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.03.016>
- Nagaraja, T. G., Towne, G., & Beharka, A. A. (1992). Moderation of ruminal fermentation by ciliated protozoa in cattle fed a high-grain diet. *Applied and Environmental Microbiology*, 58(8), 2410–2414. <https://doi.org/10.1128/aem.58.8.2410-2414.1992>
- National Research Council (NRC) 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. *National Academies Press*, Washington, D.C. USA. 362p.
- National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, 2001. Washington, DC: The National Academies. <https://doi.org/10.17226/9825>.
- Newbold, C. J., López, S., Nelson, N., Ouda, J. O., Wallace, R. J., & Moss, A. R. (2005). Propionate precursors and other metabolic intermediates as possible alternative electron acceptors to methanogenesis in ruminal fermentation in vitro. *British Journal of Nutrition*, 94(1), 27–35. <https://doi.org/10.1079/bjn20051445>
- Newbold, C. J., McIntosh, F. M., Williams, P., Losa, R., & Wallace, R. J. (2004). Effects of a specific blend of essential oil compounds on rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, 114(1–4), 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.12.006>
- Nieto, G., Bañón, S., & Garrido, M. D. (2011). Effect of supplementing ewes' diet with thyme (*Thymus zygis* ssp. *gracilis*) leaves on the lipid oxidation of cooked lamb meat. *Food Chemistry*, 125(4), 1147–1152. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.090>
- Nieto, G., Díaz, P., Bañón, S., & Garrido, M. D. (2010a). Dietary administration of ewe diets with a distillate from rosemary leaves (*Rosmarinus officinalis* L.): Influence

- on lamb meat quality. *Meat Science*, 84(1), 23–29. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.001>
- Nieto, G., Díaz, P., Bañón, S., & Garrido, M. D. (2010b). Effect on lamb meat quality of including thyme (*Thymus zygis* ssp. *gracilis*) leaves in ewes' diet. *Meat Science*, 85(1), 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.12.009>
- Nisbet, D. J., & Martin, S. A. (1991). Effect of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on lactate utilization by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *Journal of Animal Science*, 69(11), 4628–4633. <https://doi.org/10.2527/1991.69114628x>
- Nisbet, D. J., & Martin, S. A. (1994b). Factors affecting L-lactate utilization by *Selenomonas ruminantium*. *Journal of Animal Science*, 72(5), 1355–1361. <https://doi.org/10.2527/1994.7251355x>
- Nocek, J. E., & Tamminga, S. (1991). Site of Digestion of Starch in the Gastrointestinal Tract of Dairy Cows and Its Effect on Milk Yield and Composition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3598–3629. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(91\)78552-4](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(91)78552-4)
- Nolan, J. V., & Dobos, R. C. (2005). Nitrogen Transactions in Ruminants. In Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism (2nd ed., pp. 177-206 LB-B1 Chapter in a Scholarly Book). CABI Publishing. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1959.11/388>
- Norma Oficial Mexicana. 1999. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. [NOM-062- ZOO-1999]. Diario Oficial de la Federación, México. Disponible en: <https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/principal/archivos/062ZOO.PDF>
- Ørskov, E. R. (1992). *Protein Nutrition in Ruminants*. Amsterdam, Países Bajos: Amsterdam University Press. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=NEITBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=Protein+Nutrition+in+Ruminants&ots=UHx12cjyrH&sig=DLz2ZilteEkMrPZY9DNm1S33vd4#v=onepage&q=Protein%20Nutrition%20in%20Ruminants&_false
- Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499–503. <https://doi.org/10.1017/s0021859600063048>
- Ørskov, E.R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science* 92 (2), 499-503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
- Ørskov, R. (1995). Rumen microbial metabolism and ruminant digestion. *Livestock Production Science*, 44(3), 284. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(95\)90065-9](https://doi.org/10.1016/0301-6226(95)90065-9)

- Ortiz-Heredia, M. A., Hernández-Martínez, P. A., Guerrero-Rodríguez, J. de D., Gonzalez-Muñoz, S. S., & Bárcena-Gama, J. R. (2021). Finalización de corderos con malato de calcio y aceites esenciales en la dieta. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 8 (1), 64-71. Recuperado el 5 de noviembre de 2021, de [https://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/docs/RMAE%20vol%208_Sup1_2021/RMAE_Vol8_Sup1_2021\(AMPA-2020\).pdf](https://www.voaxaca.tecnm.mx/revista/docs/RMAE%20vol%208_Sup1_2021/RMAE_Vol8_Sup1_2021(AMPA-2020).pdf)
- Ortuño, J., Serrano, R., Jordán, M. J., & Bañón, S. (2014). Shelf life of meat from lambs given essential oil-free rosemary extract containing carnosic acid plus carnosol at 200 or 400mgkg⁻¹. *Meat Science*, 96(4), 1452–1459. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.11.021>
- Patra, A. K., & Saxena, J. (2010). A New Perspective on the Use of Plant Secondary Metabolites to Inhibit Methanogenesis in the Rumen. *ChemInform*, 41(41), no. <https://doi.org/10.1002/chin.201041275>
- Patra, A. K., & Saxena, J. (2010a). A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, 71(11–12), 1198–1222. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.05.010>
- Petri, R., Forster, R., Yang, W., McKinnon, J., & McAllister, T. (2012). Characterization of rumen bacterial diversity and fermentation parameters in concentrate fed cattle with and without forage. *Journal of Applied Microbiology*, 112(6), 1152–1162. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05295.x>
- Pinos, R., J.M. y S.S. González, M. 2000. Efectos biológicos y productivos de los ionóforos en rumiantes. *Interciencia* 25: 379–385. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33905004>
- Piñero-Vázquez, A. T., Canul-Solis, J. R., Jiménez-Ferrer, G. O., Alayón-Gamboa, J. A., Chay-Canul, A. J., Ayala-Burgos, A. J., & Ku-Vera, J. C. (2018). Effect of condensed tannins from *Leucaena leucocephala* on rumen fermentation, methane production and population of rumen protozoa in heifers fed low-quality forage. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(11), 1738–1746. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0192>
- Piñero-Vázquez, A., Oliva-Hernández, J., & Hinojosa-Cuéllar, J. (2009). Uso de suplementación mineral con monensina sódica en corderas Pelibuey durante el crecimiento postdestete. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 41(1). <https://doi.org/10.4067/s0301-732x2009000100005>
- Priolo, A., Micol, D., & Agabriel, J. (2001). Effects of grass feeding systemson ruminant meat colour and flavour. A review. *Animal Research*, 50(3), 185–200. <https://doi.org/10.1051/animres:2001125>
- Qin, W. Z., Li, C. Y., Kim, J. K., Ju, J. G., & Song, M. K. (2012). Effects of Defaunation on Fermentation Characteristics and Methane Production by Rumen Microbes *In vitro* When Incubated with Starchy Feed Sources. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(10), 1381–1388. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12240>

- Resurreccion, A. (2004). Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products. *Meat Science*, 66(1), 11–20. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(03\)00021-4](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(03)00021-4)
- Ribeiro, A. D. B., Ferraz Junior, M. V. C., Polizel, D. M., Miszura, A. A., Gobato, L. G. M., Barroso, J. P. R., Susin, I., & Pires, A. V. (2019). Thyme essential oil for sheep: effect on rumen fermentation, nutrient digestibility, nitrogen metabolism, and growth. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, 71(6), 2065–2074. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10792>
- Ribeiro, R. D. X., Oliveira, R. L., Macome, F. M., Bagaldo, A. R., Silva, M. C. A., Ribeiro, C. V. D. M., Carvalho, G. G. P., Lanna, D. P. D. (2011). Meat Quality of Lambs Fed on Palm Kernel Meal, a By-product of Biodiesel Production. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(10), 1399–1406. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11110>
- Rivaroli, D. C., del Mar Campo, M., Sañudo, C., Guerrero, A., Jorge, A. M., Vital, A. C. P., Valero, M. V., do Prado, R. M., do Prado, I. N. (2020). Effect of an essential oils blend on meat characteristics of crossbred heifers finished on a high-grain diet in a feedlot. *Animal Production Science*, 60(4), 595. <https://doi.org/10.1071/an18620>
- Rodríguez-Pinos. J. M. y González-Muñoz. S. S. (2000). Efectos biológicos y productivos de los ionóforos en rumiantes. *Interciencia*, noviembre, año/vol. 25, número 008. Asociación Interciencia. Caracas, Venezuela. pp. 379-385.
- Romero-Bernal, J., Almaraz, E. M., Ortega, O. A. C., Salas, N. P., & González-Ronquillo, M. (2017). Chemical composition and fatty acid profile in meat from grazing lamb diets supplemented with ryegrass hay, fishmeal and soya bean meal as PUFA sources. *Ciência Rural*, 47(4). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160533>
- Ronquillo, J.C.C., J.E.H. Hernández, O.A.V. Espino-Barros, F.J.F. Guerra, y C.A.C. Becerra. 2018. Análisis económico de la engorda de ovinos en una granja integral en el estado de Puebla, México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 42:819-827. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14156175001>
- Russell, J. B. (1987). A Proposed Mechanism of Monensin Action in Inhibiting Ruminant Bacterial Growth: Effects on Ion Flux and Protonmotive Force. *Journal of Animal Science*, 64(5), 1519–1525. <https://doi.org/10.2527/jas1987.6451519x>
- Russell, J. B., & Houlihan, A. J. (2003). Ionophore resistance of ruminal bacteria and its potential impact on human health. *FEMS Microbiology Reviews*, 27(1), 65–74. [https://doi.org/10.1016/s0168-6445\(03\)00019-6](https://doi.org/10.1016/s0168-6445(03)00019-6)
- Russell, J. B., & Houlihan, A. J. (2003). Ionophore resistance of ruminal bacteria and its potential impact on human health. *FEMS Microbiology Reviews*, 27(1), 65–74. [https://doi.org/10.1016/s0168-6445\(03\)00019-6](https://doi.org/10.1016/s0168-6445(03)00019-6)

- Russell, J. B., & New York State College of Agriculture and Life Sciences. (2002). *Rumen microbiology and its role in ruminant nutrition*. Ithaca, NY: Dept. of Microbiology, Cornell University.
- Salem, A., Szumacher-Strabel, M., López, S., Khalil, M., Mendoza, G., & Ammar, H. (2012). In situ degradability of soyabean meal treated with acacia saligna and atriplex halimus extracts in sheep. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 21(3), 447-457. <https://doi.org/10.22358/jafs/66113/2012>
- SAS Institute (2013). Base SAS® 9.4 Procedures Guide: Statistical Procedures. Second edition. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 550 p.
- Schneider, P., Sklan, D., Chalupa, W., & Kronfeld, D. (1988). Feeding Calcium Salts of Fatty Acids to Lactating Cows. *Journal of Dairy Science*, 71(8), 2143–2150. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(88\)79787-8](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(88)79787-8)
- SIAP. (2020). Producción de ovinos. Retrieved December 11, 2021, from <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Simitzis, P. E., Deligeorgis, S. G., Bizelis, J. A., Dardamani, A., Theodosiou, I., & Fegeros, K. (2008). Effect of dietary oregano oil supplementation on lamb meat characteristics. *Meat Science*, 79(2), 217–223. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.09.005>
- Simopoulos, A. (2008). The importance of the omega-6 = omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases, *Exp. Biol, M.*, 233, 674–688. <https://doi.org/10.3181/0711-MR-311>
- Skillman, L. C., Toovey, A. F., Williams, A. J., & Wright, A. D. G. (2006). Development and Validation of a Real-Time PCR Method To Quantify Rumen Protozoa and Examination of Variability between Entodinium Populations in Sheep Offered a Hay-Based Diet. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(1), 200–206. <https://doi.org/10.1128/aem.72.1.200-206.2006>
- Smeti, S., Hajji, H., Mekki, I., Mahouachi, M., & Atti, N. (2018). Effects of dose and administration form of rosemary essential oils on meat quality and fatty acid profile of lamb. *Small Ruminant Research*, 158, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.10.007>
- Smeti, S., Tibaoui, S., Bertolín, J. R., Yagoubi, Y., Mekki, I., Joy, M., & Atti, N. (2020). Effects of myrtle (*Myrtus communis* L.) essential oils as dietary antioxidant supplementation on carcass and meat quality of goat meat. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105(3), 452–461. <https://doi.org/10.1111/jpn.13483>
- Storm, E., Ørskov, E. R., & Smart, R. (1983). The nutritive value of rumen microorganisms in ruminants. *British Journal of Nutrition*, 50(2), 471–478. <https://doi.org/10.1079/bjn19830115>

- Tshabalala, P., Strydom, P., Webb, E., & de Kock, H. (2003). Meat quality of designated South African indigenous goat and sheep breeds. *Meat Science*, 65(1), 563–570. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(02\)00249-8](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(02)00249-8)
- United Nations (2019). World population prospects—Population division—United nations. (s. f.). Recuperado 9 de mayo de 2022, de <https://population.un.org/wpp/>
- Van Keulen, J., y B.A. Young. 1977. Evaluation of Acid-Insoluble Ash as a Natural Marker in Ruminant Digestibility Studies. *Journal of Animal Science* 44:282–287. <http://doi:10.2527/jas1977.442282x>.
- van Nevel, C. J., & Demeyer, D. I. (1996). Control of rumen methanogenesis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 42(1–2), 73–97. <https://doi.org/10.1007/bf00394043>
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant* (2nd. ed.). Ithaca, NY. State College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University. Comstock Pub. p. 261
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vargas-Bello-Pérez, E., & Larraín, R. E. (2017). Impacts of fat from ruminants' meat on cardiovascular health and possible strategies to alter its lipid composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(7), 1969–1978. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8168>
- Voisinet, B., Grandin, T., O'Connor, S., Tatum, J., & Deesing, M. (1997). Bos indicus-cross feedlot cattle with excitable temperaments have tougher meat and a higher incidence of borderline dark cutters. *Meat Science*, 46(4), 367–377. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(97\)00031-4](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(97)00031-4)
- Wallace R.J., Onodera R., Cotta M.A. (1997) Metabolism of nitrogen-containing compounds. In: Hobson P.N., Stewart C.S. (eds) *The Rumen Microbial Ecosystem*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1453-7_7
- Watkins, P. J., Frank, D., Singh, T. K., Young, O. A., & Warner, R. D. (2013). Sheepmeat Flavor and the Effect of Different Feeding Systems: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(15), 3561–3579. <https://doi.org/10.1021/jf303768e>
- Webb, E., Casey, N., & Simela, L. (2005). Goat meat quality. *Small Ruminant Research*, 60(1–2), 153–166. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.06.009>
- Wilkins, R., & Jones, R. (2000). Alternative home-grown protein sources for ruminants in the United Kingdom. *Animal Feed Science and Technology*, 85(1–2), 23–32. [https://doi.org/10.1016/s0377-8401\(00\)00140-1](https://doi.org/10.1016/s0377-8401(00)00140-1)

- Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Hughes, S. I., & Whittington, F. M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78(4), 343–358. [10.1016/j.meatsci.2007.07.019](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019)
- Yagoubi, Y., Hajji, H., Smeti, S., Mahouachi, M., Kamoun, M., & Atti, N. (2018). Growth performance, carcass and noncarcass traits and meat quality of Barbarine lambs fed rosemary distillation residues. *Animal*, 12(11), 2407–2414. <https://doi.org/10.1017/s1751731118000071>
- Yagoubi, Y., Joy, M., Ripoll, G., Mahouachi, M., Bertolín, J., & Atti, N. (2018b). Rosemary distillation residues reduce lipid oxidation, increase alpha-tocopherol content and improve fatty acid profile of lamb meat. *Meat Science*, 136, 23–29. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.10.007>
- Yagoubi, Y., Smeti, S., ben Saïd, S., Srihi, H., Mekki, I., Mahouachi, M., & Atti, N. (2021). Carcass Traits and Meat Quality of Fat-Tailed Lambs Fed Rosemary Residues as a Part of Concentrate. *Animals*, 11(3), 655. <https://doi.org/10.3390/ani11030655>
- Yang, C. M., & Russell, J. B. (1993). The effect of monensin supplementation on ruminal ammonia accumulation in vivo and the numbers of amino acid-fermenting bacteria. *Journal of Animal Science*, 71(12), 3470–3476. <https://doi.org/10.2527/1993.71123470x>
- Zhou, Z., Fang, L., Meng, Q., Li, S., Chai, S., Liu, S., & Schonewille, J. T. (2017). Assessment of Ruminal Bacterial and Archaeal Community Structure in Yak (*Bos grunniens*). *Frontiers in Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00179>