



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

EFFECTO DEL ACEITE ESENCIAL DE ORÉGANO MEXICANO (*Lippia
berlandieri schauer*) SOBRE LA FERMENTACIÓN RUMINAL,
DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA CARNE DE OVINOS

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta

ALVIN GUSTAVO CARRILLO HURTADO

Bajo la supervisión de:

Maximino Huerta Bravo, Ph.D.



Chapingo, Estado de México, junio 2025

EFFECTO DEL ACEITE ESENCIAL DE ORÉGANO MEXICANO
(*Lippia berlandieri schauer*) SOBRE LA FERMENTACIÓN
RUMINAL, DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA
CARNE DE OVINOS

Tesis realizada por ALVIN GUSTAVO CARRILLO HURTADO, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Ph. D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR:



Dr. Luis Alberto Miranda Romero

ASESOR:



D. Ph. Gerardo Méndez Zamora

ASESOR:



Ph. D. Jorge R. Kawas

LECTOR EXTERNO:



Dra. Yarellys Ramos Zayas

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS	i
DATOS BIBLIOGRÁFICOS	i
RESUMEN.....	i
ABSTRACT	ii
CAPÍTULO_1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Hipótesis.....	2
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.3 Objetivos específicos.....	2
1.3 Fuentes de información	3
CAPÍTULO_2..... ACEITE DE ORÉGANO MEXICANO EN LA CALIDAD DE LA	
CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS.....	5
CAPÍTULO_3..... FERMENTACIÓN RUMINAL <i>IN VITRO</i> DE UNA DIETA PARA	
OVINOS AL VARIAR ORIGEN Y DOSIS DE ACEITE ESENCIAL DE	
ORÉGANO	39
CAPÍTULO 4. EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE ACEITE DE ORÉGANO	
(<i>LIPPIA BARLANDIERI</i> SCHAUER) Y MALATO DE SODIO EN LA DIETA	

SOBRE PRODUCTIVIDAD, LÍPIDOS SANGUÍNEOS Y CALIDAD DE LA	
CARNE DE CORDEROS.....	70
4.1 Resumen	70
4.2 Introducción	71
4.3 Materiales y métodos.....	72
4.3.1 Animales y tratamientos	72
4.3.2 Manejo de los animales.....	72
4.3.3 Lípidos sanguíneos	73
4.3.4 Variables de sacrificio.....	73
4.3.5 Análisis de la calidad de la carne	73
4.3.7 Análisis estadístico	76
4.4 Resultados y discusión	77
4.4.1 Productividad, masticación y lípidos sanguíneos	77
4.4.2 Variables fisicoquímicas de la carne	80
4.4.3 Análisis de Textura de la carne	83
4.4.4 Evaluación sensorial de la carne.....	84
4.5 Conclusión.....	85
4.6 Literatura citada.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 3

Figura 1. Método para obtener Metano más gases menores (CH_4+GM).	45
---	----

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO 2

Cuadro 1. Efectos del aceite de orégano mexicano en la calidad de la carne de rumiantes y conejos.	11
Cuadro 2. Efectos del aceite de orégano Mexicano en la calidad de la carne de aves de engorda.	16
Cuadro 3. Efectos del aceite de orégano en los productos cárnicos.	24

CAPÍTULO 3

Cuadro 1. Componentes activos de los AEO utilizados.	43
Cuadro 2. Composición nutricional (base húmeda) del alimento utilizado para alimentación de los ovinos donadores de inóculo y como sustrato en los viales de fermentación <i>in vitro</i>	44
Cuadro 3. Fracciones de fermentación <i>in vitro</i> con la adición de AEO de diferente origen y a diferentes dosis.	49
Cuadro 4. Degradabilidad <i>in vitro</i> de la materia seca y orgánica con la adición de AEO de diferente origen y a diferentes dosis.	50
Cuadro 5. Variables de cinética de producción de gas <i>in vitro</i> con la adición de AEO de diferente origen y a diferentes dosis.	51
Cuadro 6. Concentración molar de ácidos grasos volátiles <i>In vitro</i> con la adición de AEO de diferente origen y a diferentes dosis.	53
Cuadro 7. Variables de impacto ambiental <i>in vitro</i> con la adición de AEO de diferente origen y a diferentes dosis.	55

CAPÍTULO 4

Cuadro 1. Peso vivo, consumo de materia seca (CMS), ganancia diaria de peso (GDP) y eficiencia alimenticia (E:A) de corderos con la inclusión en la dieta de aceite de orégano y malato de sodio.	78
--	----

Cuadro 2. Efecto de la masticación con la inclusión en la dieta de aceite de orégano y malato de sodio.....	79
Cuadro 3. Concentración de lípidos sanguíneos de corderos con la inclusión en la dieta de aceite de orégano y malato de sodio.....	80
Cuadro 4. Variables fisicoquímicas y parámetros de color de la carne de corderos con la inclusión en la dieta de aceite de orégano y malato de sodio .	81
Cuadro 5. Composición química proximal de la carne de corderos con la inclusión en la dieta de aceite de orégano y malato de sodio	82
Cuadro 6 Pérdida por cocción y análisis de textura de la carne de corderos con la inclusión en la dieta de aceite de orégano y malato de sodio	83
Cuadro 7. Evaluación sensorial de la carne de corderos con la inclusión en la dieta de aceite de orégano y malato de sodio	84

DEDICATORIAS

A mi hija

Alyce Samara Carrillo Valles

A mis abuelos

Aquileo Carrillo González †

José Hurtado Soto †

A las que se adelantaron en el camino

Mi prima

Perla Azucena Bocanegra Carrillo †

Mi tía

Marcela Isalia Hurtado Lozano †

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A mi esposa Cecilia por su paciencia y apoyo.

A mi familia: mi mamá Imelda, mi papá Gustavo, y mis hermanos Blady y Anai por confiar en mí.

A CONAHCyT por el apoyo de beca.

A la Universidad Autónoma Chapingo y su Posgrado en Producción Animal, al Departamento de Zootecnia y a la URUZA por todo lo aportado. Al igual que a la Universidad Autónoma de Nuevo León; la Facultad de Agronomía y la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Al Ph. D. Maximino Huerta Bravo por toda su ayuda dentro y fuera de la universidad.

A los catedráticos que integraron mi comité, Ph. D. Jorge Kawas, Dr. Luis Miranda, D. Ph. Gerardo Méndez, así como los que me dieron clases y los que conocí en el transcurso, como los encargados de los laboratorios y de oficina.

A los compañeros del Posgrado; Noe, Pedrito, los famosos ZM; Lupe, Narda, Mireles y Andy. Así como los alumnos de la URUZA que me apoyaron en el experimento: Alexis, Carlos, Daena y María.

A MNA de México y AQUA Laboratorios, así como su departamento de investigación encabezado por la Dra. Yareellys Ramos.

A los que directa e indirectamente hicieron posible este proyecto.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales:

Nombre: Alvin Gustavo Carrillo Hurtado.

Fecha de nacimiento: 15 de abril de 1991.

Lugar de nacimiento: Gómez Palacio, Durango, México.

CURP: CAHA910415HDGRRL06

Profesión: Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Pecuarios.

Desarrollo Académico:

Licenciatura: Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo.

Maestría: Posgrado en Ciencia Animal, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Doctorado: Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo.



RESUMEN

Las principales variedades mexicanas de orégano son *Lippia graveolens*, *Lippia berlandieri* y *Poliomintha longiflora* de donde se obtiene el aceite esencial, este aceite es una alternativa natural a los aditivos convencionales. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del aceite esencial de orégano mexicano sobre los productos de la fermentación *in vitro*, el comportamiento productivo, y la calidad de la carne en la engorda intensiva de ovinos. A partir de esto se realizó un análisis de estudios del aceite de orégano mexicano en especies rumiantes y aves tanto en la calidad de carne y productos cárnicos. Después se evaluó el patrón de fermentación ruminal *in vitro* al variar el origen y dosis. Por último, de manera *in vivo* se midieron los efectos del aceite de orégano en el comportamiento productivo y características de la canal de corderos de engorda. Se demostró que el aceite de orégano mexicano puede modular de mejor manera la fermentación ruminal que el de origen europeo, pero disminuye la digestión y la producción de gas total. El aceite de orégano mexicano en la dieta de ovinos puede incrementar el rendimiento productivo en el inicio de la engorda, así como en carne puede disminuir el contenido de grasa y su textura en general fue mejor. En conclusión, el aceite esencial de orégano tiene beneficios para la producción de rumiantes y mejora la calidad de la carne, lo cual le permite competir con otros aditivos similares.

Palabras clave: Aceite esencial de orégano, fermentación ruminal, calidad de la carne, ovinos.

Tesis de Doctorado en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal
Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Alvin Gustavo Carrillo Hurtado
Director de tesis: Maximino Huerta Bravo, Ph. D

ABSTRACT

The main Mexican varieties of oregano are *Lippia graveolens*, *Lippia berlandieri*, and *Poliomintha longiflora*, from which the essential oil is obtained. This oil is a natural alternative to conventional additives. The objective of this research was to evaluate the effect of Mexican oregano essential oil on in vitro fermentation products, productive performance, and meat quality in intensive sheep fattening. Based on this, an analysis of studies using Mexican oregano oil in ruminant species and poultry on both meat and meat product quality was conducted. The in vitro ruminal fermentation pattern was then evaluated by varying the origin and dose. Finally, the effects of oregano oil on productive performance and carcass characteristics of fattened lambs were measured in vivo. It was demonstrated that Mexican oregano oil can better modulate ruminal fermentation than European oregano oil, but it decreases digestion and total gas production more. Mexican oregano oil in diets can increase productive performance at the beginning of fattening and can also reduce fat content in meat, improving overall texture. In conclusion, oregano essential oil can be beneficial for ruminant production and improve meat quality, allowing it to compete with other similar additives.

Keywords: Oregano essential oil, rumen fermentation, meat quality, lambs.

Doctoral Thesis in Science in Livestock Innovation, Graduate Program in Animal Production
Universidad Autónoma Chapingo
Author: Alvin Gustavo Carrillo Hurtado
Thesis Supervisor: Maximino Huerta Bravo, Ph.D.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los sistemas de alimentación en la producción animal utilizan aditivos de naturaleza antimicrobiana que en explotaciones intensivas mejoran el desempeño productivo. Estos aditivos mejoran la ganancia diaria de peso, la composición y el rendimiento de la canal, el valor nutricional, la estabilidad y la vida útil de la carne (Kinnucan et al., 1997). Sin embargo, el uso rutinario de estos compuestos químicos puede producir residuos en los productos pecuarios y también es responsable del desarrollo de resistencia microbiana a los antibióticos (He et al., 2020). Aunado a esto, las emisiones de gases como el metano (CH_4) producido por los rumiantes contribuyen considerablemente a los gases de efecto invernadero atmosféricos (FAO, 2010).

La emergente política de prohibición del uso de antibióticos en Europa en los alimentos para animales ha intensificado la búsqueda de productos naturales alternos. Por otro lado, las plantas producen diversos compuestos orgánicos derivados de su metabolismo secundario, que se clasifican en tres grupos: saponinas, taninos y aceites esenciales. Estos compuestos se pueden utilizar como aditivos fitogénicos y han recibido una mayor atención como alternativas a los aditivos convencionales para la producción animal (Benchaar et al., 2008).

Los aceites esenciales (AE) se consideran seguros para el consumo humano y animal en los EE. UU. (FDA, 2004). Se trata de componentes de origen natural prometedoras para mitigar la producción de metano, mejorar la fermentación ruminal y reducir el impacto ambiental de los sistemas de producción de rumiantes (Cobellis et al., 2016). Adicionalmente, el uso de AE como antioxidantes naturales pueden ser una alternativa a los suplementos sintéticos, con la intención de mejorar la calidad de la carne, sin dejar residuos en el producto o el medio ambiente (Yanishlieva-Maslarova, 2001). En particular, el aceite esencial de orégano (AEO) tiene propiedades antioxidantes y antimicrobianas, por lo que ofrece un beneficio importante en el sector ganadero.

El AEO está compuesto de sustancias volátiles como carvacrol, timol, β -mirceno, α -terpineno, γ -terpineno, p-cimeno y cineol (Bakkali et al., 2008; Do et al., 2015).

Patra y Yu (2012) mostraron en estudios *in vitro* que el AEO redujo la tasa de amonio, lo que sugiere que puede alterar el metabolismo proteico. Además, el AEO ha demostrado ser una opción para reducir la producción de metano (Macheboeuf et al., 2008) y mejorar la estabilidad oxidativa de la carne (Simitzis, 2017). Sin embargo, se ha prestado poca atención al aceite de orégano mexicano, preparado a partir de *Lippia berlandieri* Schauer, del cual existen pocos reportes para la alimentación de ganado en México y en otros países (Méndez-Zamora et al., 2017).

1.1 Hipótesis

El aceite esencial de orégano mexicano aumenta la eficiencia productiva y la calidad de la carne de ovinos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del aceite esencial de orégano mexicano sobre los productos de la fermentación *in vitro*, el comportamiento productivo, y la calidad de la carne en la engorda intensiva de ovinos.

1.2.3 Objetivos específicos

- Analizar la fermentación ruminal *in vitro* al variar el origen y dosis del AEO para generar información que acrediten su uso como aditivo fitogénico en dietas por rumiantes.

- Evaluar los efectos de la suplementación con AEO en el comportamiento productivo, lípidos sanguíneos y características de la canal de corderos en una engorda intensiva.

El presente documento de tesis incluye cuatro capítulos adicionales. En el **capítulo dos** se presenta una revisión de literatura sobre la utilización de AEO mexicano en la producción y productos cárnicos. En el **capítulo tres** se presentan los resultados de la evaluación *in vitro* de la dosis de AEO mexicano y europeo sobre variables de producción de gas y de fermentación de la materia orgánica de una dieta para engorda intensiva de ovinos. En el **capítulo cuatro** se presentan los resultados de la suplementación de AEOM y malato de sodio en la engorda intensiva de corderos, en las respuestas de comportamiento productivo y de lípidos en sangre, además de los resultados sobre las variables de calidad de la carne.

1.3 Fuentes De Información

- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils: A review. *Food and Chemical Toxicology* 46, 446-475.
- Benchaa, 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, 209-228.
- Cobellis, G., Trbalza-Marinucci M., & Yu, Z. (2016). Critical evaluation of essential oils as rumen modifiers in ruminant nutrition: A review. *Science of the Total Environment*. 545–546:556–568.
- Do, T.K.T., Hadji-Minaglou, F., Antoniotti, S., Fernandez, X. (2015). Authenticity of essential oils. *Trends in Analytical Chemistry* 66: 146-157.
- FDA. (2004). Freedom of information summary. Supplemental new animal drug application.
- FAO. (2010). Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- He, Y., Yuan, Q., Mathieu, J., Stadler, L., Senehi, N., Sun, R. & Alvarez, P. (2020). Antibiotic resistance genes from livestock waste: occurrence, dissemination, and treatment. *NPJ Clean Water*. 2020; 3 1-4.

- Kinnucan, H.W., Xiao, H., Hsia, C.J., Jackson, J.D. (1997). Effects of Health Information and Generic Advertising on U.S. Meat Demand. *American Journal of Agricultural Economics* 79, 13–23.
- Macheboeuf, D., Morgavi, D.P., Papon, Y., Mousset, J.L. & Arturo-Schaan, M., (2008). Dose–response effects of essential oils on *in vitro* fermentation activity of the rumen microbial population. *Animal Feed Science and Technology*. 145, 335–350.
- Méndez-Zamora, G., Durán Meléndez, L. A., Hume, M. E., Silva Vázquez, R. (2017). Performance, blood parameters, and carcass yield of broiler chickens supplemented with Mexican oregano oil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(6), 515-520.
- Patra, A. K., and Yu, Z., 2012. Effects of essential oils on methane production and fermentation by, and abundance and diversity of, rumen microbial populations. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(12), pp 4271-4280. <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.00309-12>
- Simitzis, P. E. (2017). Enrichment of animal diets with essential oils: a great perspective on improving animal performance and quality characteristics of the derived products. *Medicines*, 4(2), 35.
- Vazquez, S. R., & Dunford, N. T. (2005). Bioactive components of mexican Oregano oil as affected by moisture and plant growth. *Journal of Essential Oil Research*, 17: 668-671.
- Yanishlieva-Maslarova, N. V. (2001). Inhibiting oxidation. In J. Pokorny, N. Yanishlieva, & M. Gordon (Eds.), *Antioxidants in food. Practical applications* (pp. 22–70). Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited, CRC Press.

2. ACEITE DE ORÉGANO MEXICANO EN LA CALIDAD DE LA CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS

RESUMEN

Las principales variedades mexicanas de orégano son *Lippia graveolens*, *Lippia berlandieri* y *Poliomintha longiflora*. Las hojas de la planta son usadas para obtener el aceite esencial de orégano mexicano (AEOM), que contiene carvacrol y timol considerados compuestos antioxidantes y antimicrobianos, pero algunos de sus efectos no han sido esclarecidos o están en debate. Esta revisión consiste en el análisis de estudios del AEOM en especies rumiantes y aves tanto en la calidad de carne y productos cárnicos. El AEOM puede modificar el perfil de ácidos grasos en la carne de corderos, así como el comportamiento productivo de conejos, pollos y pavos; también afecta la calidad de la carne de pollos, codornices, pavos y conejos. El AEOM puede prolongar la vida de anaquel, mejorar el aroma, color y aceptabilidad de la carne, por lo que puede sustituir aditivos convencionales utilizados en la industria alimentaria, pero es necesario determinar el contenido del carvacrol y timol en el sistema de los animales y derivados cárnicos para que sus efectos puedan ser explicados y mejorados.

Palabras clave: Antimicrobiano, antioxidante, carvacrol, calidad de la carne, timol.

Highlights

- Oregano oil improves the performance of ruminant and non-ruminant.
- Oregano oil increases meat quality.
- Mexican oregano is a natural phytogetic for the meat industry.

ABSTRACT

The main Mexican varieties of oregano are *Lippia graveolens*, *Lippia berlandieri* and *Poliomintha longiflora*. The leaves of the plant are used to obtain oregano essential oil (AEOM), which contains carvacrol and thymol as main compounds and are attributed with antioxidant and antimicrobial activity. Although these components may vary according to the origin, the species and some of its effects have not yet been clarified or are under debate. This review shows the studies of the AEOM in ruminant species and birds both in the quality of meat and meat products. The AEOM can modify the profile of fatty acids in the meat of lambs. It improves productive behavior in species such as rabbits, chickens and turkeys, it also affects the quality of chicken meat, although these effects may differ if the AEOM is in the feed or in the drinking water. The AEOM can prolong the shelf life and improve the aroma, color, and acceptability of the meat due to its antioxidant capacity, so it can replace conventional additives used in the food industry, but it is necessary to determine the content of carvacrol and thymol in the derivatives meat products so that their effects can be explained and improved.

Keywords: Antimicrobial, antioxidant, carvacrol, meat quality, thymol.

INTRODUCCIÓN

El orégano pertenece al género *Origanum* (Lamiaceae) y *Lippia* (Verbenaceae). Dos tipos de orégano son estudiados en el mundo, el Europeo o Mediterraneo (*Origanum vulgare* L. y *Origanum onites* sp.) y Mexicano (*Lippia graveolens*, *Lippia berlandieri* y *Poliomintha longiflora*). Sin embargo, los estudios se han centrado en el orégano europeo. Por otra parte, el orégano mexicano (OM) ha tomado importancia en las investigaciones, desde su caracterización hasta su aplicación en diversas áreas.

El OM es un arbusto que se distribuye en climas áridos y semiáridos, desde el sur de Texas hasta Colombia donde también es considerado “Orégano de monte”, planta perteneciente a la familia Verbenáceae, posee hojas verdes ovaladas aromáticas e inflorescencias en racimo, axilares y blancas (Hurtado-Benavides et al., 2015). Las hojas de orégano se emplean y comercializan como especia y, debido a sus componentes químicos, como los lípidos insaturados con compuestos monoterpénicos, han sido extraídos por arrastre de vapor o alcoholes para obtener el aceite esencial (AE), y dependiendo de la planta donde se obtuvieron es el nombre; en este caso es el aceite esencial de orégano (AEO).

En años recientes, las hojas de la planta de OM son usadas para obtener el AEO, el cual es una mezcla de compuestos aromáticos volátiles individuales (Monu et al., 2016). Las principales variedades mexicanas de orégano son *Lippia graveolens*, *Lippia berlandieri* y *Poliomintha longiflora* (Mora-Zúñiga et al., 2022). Sus extractos contienen carvacrol y timol como compuestos principales, luteína y β -caroteno como carotenoides, y exhiben propiedades antimicrobianas, antioxidantes y antiinflamatorias (Silva-Vázquez et al 2017a). El AEO puede causar daños irreversibles en la membrana celular de los microorganismos y provocar la fuga de macromoléculas biológicas en la célula, e inhibe la

vía del ciclo del ácido tricarboxílico, sus enzimas afectan a los metabolitos (Cui et al., 2019). Los estudios en ciencia animal y alimentos con el AEO mexicano (AEOM) han demostrado su efecto positivo como promotor de crecimiento, sustituto de antibióticos y conservador de alimentos para consumo humano. No obstante, algunos de sus efectos aún no han sido esclarecidos o están en debate, sobre todo en las rutas metabólicas o actividad biológica en otros sistemas biológicos. Esta revisión es para mostrar los estudios del AEOM en especies rumiantes y aves en calidad de carne y productos cárnicos, así como limitaciones identificadas que sean útiles para investigaciones futuras.

Orégano mexicano

El orégano es una planta herbácea, perenne y aromática que se encuentra distribuida en el mundo, y dos tipos de orégano se conocen, las variedades de orégano Europeo o Mediterráneo *Origanum spp*, y las variedades mexicanas de orégano *Lippia spp* (Mora-Zúñiga et al., 2022). Estas plantas se utilizan como ingredientes de cocina, saborizantes y texturizantes.

El OM tiene actividad antioxidante, antiséptica-antiviral, antiinflamatoria y como tratamiento para enfermedades crónico-degenerativas (Bautista-Hernández et al., 2021). Además, este aceite es una fuente de ingresos para las poblaciones marginadas del país. La producción de OM se encuentra distribuida en 24 estados de la República mexicana (Silva-Vázquez et al 2017a). En los últimos años se han establecido cultivos en el norte del estado de México (Díaz de León et al., 2020; Quiroz-Velásquez et al., 2017).

La composición química y compuestos aromáticos del AEO ha sido determinada por cromatografía de gases con espectrofotometría de masas. Un alto contenido de monoterpenos hidrocarbonados y oxigenados se han identificado, siendo carvacrol, timol

y p-cimeno los principales constituyentes. Sin embargo, los componentes del AEO pueden variar según el origen y especie. El origen, especie, fisicoquímica (pH y composición) y terpenoides del OM deben considerarse en las investigaciones porque mejorarían la lucidez de sus efectos en los diversos estudios.

Aceite de orégano mexicano en la calidad de la carne de rumiantes y conejos

La investigación sobre la carne de rumiantes ha tomado atención porque tiene lípidos bioactivos, como los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, los cuales son esenciales para los humanos y protegen contra enfermedades (Xu, 2015; Chen et al, 2016; Zárate et al., 2017). Los ácidos grasos de la carne de rumiantes pueden mejorarse mediante la suplementación dietética (Realini et al., 2021; Kamel et al., 2018). Entonces, los aditivos naturales como el AEOM puede influir en la composición, fisicoquímica, textura y propiedades sensoriales de la carne.

García-Galicia et al. (2020) obtuvieron diferencias en la dureza de la carne con la inclusión de AEOM en comparación con la monensina (Cuadro 1). Esos autores indicaron que se debe a la síntesis de grasa intramuscular, y que los ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y poliinsaturados (AGPI) tienen una textura más aceitosa que los ácidos grasos saturados (AGS). La dureza de la carne en corderos se ha asociado con el contenido de grasa intramuscular (Zhang et al., 2022), y el aumento de AGMI y AGPI en la grasa intramuscular podría reducir la fuerza de corte en la carne, produciendo una carne más suave.

La inclusión de AEO *Oreganum vulgare* en dosis moderadas en la dieta de rumiantes disminuye la concentración de ácido acético y aumenta el ácido propiónico en el rumen (Zhou et al., 2020), lo que favorece la deposición de grasa.

La adición de AEOM en la dieta de corderos influye en los parámetros de color (L^* , a^* , b^* y Chroma) de la carne (Cuadro 1). García-Galicia et al. (2020) resaltan que una dosis media de 3 g/kg de MS en dieta mantuvo un enrojecimiento (a^*), amarillez (b^*) y saturación (Chroma) más altos y estables durante el almacenamiento. Es posible que la actividad antioxidante del AEOM esté más relacionada con la protección proteica (pigmentos) que con los componentes lipídicos. Algunas especias y sus extractos, como el orégano, tienen una alta actividad antioxidante debido a su contenido en compuestos fenólicos, lo que mejora el valor nutritivo y calidad de la carne, ya que evitan su oxidación, este último efecto se comprobó con OM en corderos (Muñoz-Cuautle, 2020).

1 Cuadro 1. Efectos del aceite de orégano mexicano en la calidad de la carne de rumiantes y conejos.

Tratamiento	Producto	Desempeño	Metabolismo de grasas	Propiedades fisicoquímicas	Otros	Referencia
Dosis 0.2; 0.3; y 0.4 g kg ⁻¹ MS (<i>Lippia berlandieri</i>)	Carne de cordero (<i>Longissimus lumborum</i>)		↑ ácidos grasos (C16:1n7, C18:1n9c, C18:1n6c, C20:1n9 y C18:2n6c)	↓ FC ↑ color a*		García-Galicia et al., 2020
Dosis de 0.02 y 0.04 % en el alimento (<i>Lippia graveolens</i>)	Carne de cordero (m <i>Longissimus dorsi</i>)				↑ capacidad antioxidante	Muñoz-Cuautle, 2020
Dosis 0.40 g kg ⁻¹ de alimento (<i>Poliomintha longiflora</i> Gray)	Carne de conejo (<i>Longissimus dorsi</i>)		↑ LBD	↑ pH ↑ CRA ↑ color		Méndez-Zamora et al., 2016b
Dosis de 0.25, 0.40 g kg ⁻¹ de AEOM en combinación con 20% de Bagazo de OM, (<i>Lippia berlandieri</i>)	Engorda de conejos	↑ CA ↑ GDP		↑ pH ↑ color		Aquino-López et al., 2020
Inclusión en la dieta de 2.6% de MS de hojas secas <i>Lippia palmeri</i> Watts	Cabras anglo-nubias lactantes				↑ salud intestinal	Reyes-Becerril et al., 2021

2 AEOM= Aceite esencial de orégano Mexicano, OM= orégano Mexicano.

3 CA= Conversión alimenticia, GDP= Ganancia diaria de Peso.

4 LBD= Lipoproteínas de baja densidad.

5 FC= Fuerza de corte CRA= Capacidad de retención de agua.

Si el AEOM se acumula en la carne, podría significar que sobrepasó el metabolismo en el rumen sin degradarse, por lo que el color podría permanecer estable, ya que el carvacrol apoya la actividad del glutatión peroxidasa y superóxido dismutasa, que son dos de los complejos enzimáticos antioxidantes importantes en los mamíferos (Hashemipour et al., 2013). Otro tema interesante es una posible transferencia a la carne animal o inclusive a los humanos de sustancias antioxidantes o los metabolitos presentes en el AEO. Starčević et al. (2015) mencionan que se desconoce el alcance de la acumulación de sustancias fenólicas en los tejidos de carne de pollo y no se comprende por completo la posible influencia en los seres humanos.

La suplementación con AEOM demostró actividad antioxidante de lípidos en carne fresca de cordero (Cuadro 1), lo que influye en el retraso de la oxidación de los lípidos durante la refrigeración y congelación. Muñoz-Cuautle (2020) determinaron la capacidad antioxidante (CA) en carne de cordero y encontraron que la inclusión de 0.04% de AEOM mejora la CA; esto es debido a la acción del carvacrol y timol en los pigmentos y permeabilidad de las membranas celulares del músculo y por la transformación de los lípidos y radicales hidroxilos en productos estables (Simitzis et al., 2010; García-Galicia et al., 2020).

García-Galicia et al. (2020) reportaron que una dosis media de 0.3 g/kg de MS en la engorda de cordero modifica el perfil de ácidos grasos, pero la inclusión de 0.4 g/kg de MS modificó el perfil de ácidos grasos de manera indeseable. La suplementación con AEO puede modificar la fermentación ruminal cambiando las concentraciones de AGV y alterar las bacterias del rumen (Zhou et al., 2020). Esto implicaría cambios en los ácidos grasos de la carne.

Aunque existen pocos estudios en conejos, hay algunas evidencias de efectos de las variedades de OM en calidad de la carne. Méndez-Zamora et al. (2015b) reportaron diferencias en colesterol y lipoproteínas de baja densidad, siendo el tratamiento AEOM con mayores valores, los cuales son similares a los valores reportados por Hassan (2015). Estos efectos sobre los parámetros sanguíneos podrían ser de interés para otros investigadores. Otro resultado importante fue que el AEOM obtuvo el mayor contenido de cenizas, lo cual se puede deber a que el carvacrol y timol son absorbidos y depositados en los tejidos de los conejos, lo que puede modificar los componentes de la carne, evento que no está comprobado en rumiantes (Cardinali et al., 2015).

Aunque Méndez-Zamora et al. (2016) no encontraron cambios contundentes en la calidad de la carne, en el estudio de Aquino-López et al. (2020) evaluaron el AEOM sobre la producción de carne de conejo y el bagazo que se obtiene como residuo del proceso de bio-destilación, y obtuvieron aumentos en el peso vivo, mayor ganancia de peso y mejoró la conversión alimenticia cuando usaron 0.40 g/kg de AEOM (Cuadro 1). Para las variables de la carne, la suplementación con OM (AEO y bagazo) aumentó el rendimiento de la canal fría y lomo, así como el pH en 10 días *post mortem*. La capacidad de retención de agua (CRA) fue mayor y el color se afectaron en el tiempo de almacenamiento. Los cambios en las características de la calidad de la carne debido al AEOM o el bagazo sugiere que la carne de conejo puede tener cambios en sus características químicas, aumentando el rendimiento.

Una mejor calidad de carne por el uso de aceites de plantas aromáticas puede deberse a sus componentes antioxidantes, los cuales pueden impactar en el equilibrio de la flora intestinal, sistema inmune, parámetros sanguíneos y proceso digestivo de los animales.

Así mismo, la eficiencia alimenticia puede mejorar cuando en las dietas de los animales son usados los extractos de plantas.

Wang et al. (2018) mencionaron que la carne de conejo se caracteriza por ser fuente de ácidos grasos insaturados donde su oxidación junto con las proteínas ocurre simultáneamente; lo que supone un problema para la carne; como resultado, la funcionalidad de las membranas celulares se reduce parcial o totalmente (Meineri et al., 2016). Esto también podría evitarse o controlar cuando los extractos de plantas sean usados en las investigaciones, ya que contienen muchos componentes antioxidantes, los cuales son efectivos contra procesos de deterioro.

Reyes-Becerril et al. (2021) evaluaron la suplementación con 2.6% (en base seca) de hojas secas de OM (Cuadro 1) para cabras, y encontraron nueve compuestos en las heces, de los cuales el ácido caproico (C6:0) se encontró relativamente alto (6.87 %). Este ácido graso de cadena corta ha mostrado actividad microbiciida, mejoras en la salud intestinal y efectos estimulantes en varios organismos. Por ejemplo, el ácido caproico ha controlado *Escherichia coli* en cerdos (Llorens et al. 2013; De Keyser et al. 2019). Los ácidos grasos de cadena corta en las heces son el resultado de la fermentación del microbioma intestinal y sus altos niveles en el intestino podrían estar relacionados con un mejor equilibrio inflamatorio (De Preter et al., 2015). Sin embargo, faltaría investigar si los compuestos bioactivos de los extractos de plantas aromáticas (*e.i.* carvacrol y timol) incorporados en las dietas, que, al ser digeridas, pueden pasar del rumen al intestino y después a los tejidos.

Aceite de orégano mexicano en la calidad de la carne de aves de engorda

La carne es un alimento perecedero y la industria desarrolla estrategias para mejorar la vida útil y estabilidad (Rogers et al., 2014). Además, el deterioro microbiano, autooxidación de mioglobina, oxidación de lípidos y proteínas afectan el color y el deterioro sensorial de la carne (Sabow et al., 2016; Wang et al., 2021). El AEOM es posible que afecte la estabilidad y contenido de lípidos (Cuadro 2) en el tejido muscular. Méndez-Zamora et al. (2015b) encontraron diferencias en la composición de grasa de la carne de pechuga en pollos de engorda que recibieron 0.40 y 0.80 g de AEOM (60% carvacrol y 40% timol)/kg de alimento, lo que indica que altas dosis de AE podrían aumentar el contenido de grasa y proteína.

1 Cuadro 2. Efectos del aceite de orégano Mexicano en la calidad de la carne de aves de engorda.

Tratamiento	Producto	Desempeño	Metabolismo de grasas	Propiedades fisicoquímicas	Otros	Referencia
Dosis de 200 ppm de suplementado en el alimento, (<i>Lippia berlandieri</i> Schauer)	Canal entero de pollo	↑ PS		↑ CRA ↑ dureza		Sánchez-Zamora et al. 2019
Dosis de 1000 ppm suplementado en el alimento, (<i>Lippia berlandieri</i> Schauer).	Canal entero de pollo	↑ PS ↑ rendimiento de canal caliente		↑ CRA ↓ pH ↓ pérdida por cocción ↓ cohesividad ↓ resiliencia		Cázares-Gallegos et al. 2019
Dosis de 400 ppm en el alimento de <i>Lippia berlandieri</i> Schauer y <i>Poliomintha longiflora</i> Gray	Pechuga de pollo	↑ GDP	↑ contenido de grasa ↑ LBD			Silva-Vázquez et al. 2018
Dosis de 0, 400 y 800 ppm en alimento de combinaciones de <i>Lippia berlandieri</i> Schauer y <i>Poliomintha longiflora</i> Gray	Pechuga de Pollo		↑ contenido de grasa	↓ pH ↑ luminosidad ↑ color amarillo		Méndez-Zamora et al. 2015b
Dosis de 0, 400 y 800 ppm de <i>Lippia berlandieri</i> Schauer y <i>Poliomintha longiflora</i> Grey	Canal de pollo	↑ PS ↑ rendimiento de canal	↑ magro en perna, muslo, cadera, espalda y alas			Méndez-Zamora et al. 2015a
Dosis de 400 mg L ⁻¹ en el agua de bebida de <i>Lippia berlandieri</i> Schauer y <i>Poliomintha longiflora</i> Grey	Canal de pollo			↑ color rojo en pechuga ↑ índice de saturación ↑ cohesión ↑ resiliencia	Aceptación sensorial ↑ olor ↑ sabor	Hernández-Coronado et al. 2019
Dosis de 400 ppm en el alimento (<i>Lippia berlandieri</i> Schauer)	Canal de pavo	↑ PS				Silva-Vázquez et al., 2017b

2 PS= Peso al sacrificio, GDP= Ganancia diaria de Peso.

3 LBD= Lipoproteínas de baja densidad.

4 CRA= Capacidad de retención de agua.

Asimismo, Starčević et al. (2015) obtuvieron efecto en proteína por la inclusión de 200 mg kg⁻¹ de timol en la dieta, e indicaron que el contenido de energía en la ración y consumo de alimento influyen en el contenido graso en los tejidos del pollo. Por lo que, una mejora en la deposición de grasa puede deberse al uso del AEOM en la dieta para alimentar pollos.

Estos hallazgos hacen suponer que el carvacrol y timol, principales moléculas del AEOM, pueden incrementar la síntesis de grasa y proteína para mejorar el rendimiento de algunas piezas (Cuadro 2); también puede influir en el metabolismo de los pollos (Méndez-Zamora et al., 2015a; Silva Vázquez et al., 2015; Méndez-Zamora et al., 2017; Silva-Vázquez et al., 2018; Cázares-Gallegos et al., 2019; Sánchez-Zamora et al., 2019), pavos (Silva-Vázquez et al., 2017b) y codornices (Barraza-Santos et al., 2021). Silva-Vázquez et al. (2018) encontraron en pollos de engorda que el nivel de lipoproteínas de baja densidad fue más alto en los pollos tratados con AEOM (Cuadro 2). Así mismo, Méndez-Zamora et al. (2017) encontraron que 400 mg kg⁻¹ de AEOM en el alimento aumentaron los niveles de lipoproteínas de alta densidad y lipoproteínas de baja densidad en sangre de pollos de engorda. Los efectos del aceite de orégano en dietas para pollos en los componentes de la sangre elucidan la influencia desde el proceso digestivo hasta los procesos sanguíneos. Sin embargo, marcadores metabólicos podrían demostrar esos efectos en los procesos digestivos y sangre.

El AEOM puede afectar la CRA en carne de pollo (Cuadro 2); los estudios de Sánchez-Zamora et al. (2019) y Cázares-Gallegos et al. (2019) obtuvieron incremento en CRA de la carne de pechuga de pollos por efecto del AEOM. Kim et al. (2009) mencionaron que la CRA puede depender de factores intrínsecos y extrínsecos o sus interacciones en la carne. Sin embargo, el proceso mediante el cual la CRA mejora en la carne de pollo no

está esclarecido, pero es posible que el efecto sea a nivel de miofibrillas de las fibras musculares y estabilidad de sus proteínas o manteniendo la integridad de las membranas celulares.

Cázares-Gallegos et al. (2019) mencionaron que el AEOM puede influir en el pH de la carne de pollo; esos autores reportaron un decremento de 0.26 unidades de la dosis más alta con respecto al control, este efecto del pH de la carne de pechuga obtenida podría explicarse con lo indicado por Llana-Ruiz-Cabello et al. (2015), en que la alta actividad antioxidante del timol y carvacrol del AEO Griego y Mexicano, se debe a la presencia de grupos OH fenólicos, que actúan como donadores de hidrógeno, capaces de eliminar los radicales superóxido y peróxido de hidrógeno. Por lo tanto, aumentar los niveles dietéticos de AEOM mejora la donación de grupos OH, lo que puede reducir el valor de pH detectado en la carne de pechuga. Méndez-Zamora et al. (2015b) indicaron que la sinergia entre carvacrol y timol del AEOM podría equilibrar las distribuciones de carga en la carne de pechuga.

Los estudios realizados en pollos de engorda han mostrado que aumenta el peso al sacrificio cuando se suplementan AEOM (Cuadro 2); este comportamiento puede indicar un efecto de promotor de crecimiento, el cual estimula la digestibilidad y mejora la absorción de los nutrimentos. Silva-Vázquez et al. (2018) y Cázares-Gallegos et al. (2019) mencionaron que el efecto como promotor de crecimiento del AEOM se debe a que el timol y carvacrol mejoran la actividad intestinal y absorción de nutrientes (Sánchez-Zamora et al., 2019). Varios autores señalan que los AE tienen propiedades para mejorar la digestión con la actividad de enzimas digestivas y absorción de nutrientes, así como mejorar la respuesta inmune (Chowdhury et al., 2018; Feng et al., 2021; Hashemipour, et al., 2013).

Silva-Vázquez et al. (2018) reportaron un aumento en la ganancia de peso de pollos (Cuadro 2); esto puede atribuirse a la estimulación de la secreción de enzimas digestivas, como amilasa y quimotripsina, que mejora las tasas de absorción intestinal y la utilización del alimento (Wade et al., 2018). Entonces, las dietas formuladas con AEOM mejoran la digestibilidad, regulan la microbiota intestinal y estimulan la secreción de enzimas digestivas endógenas (Ghazi et al., 2015); además, el timol y carvacrol podrían tener efectos positivos en la producción de pollos de engorda (Hashemipour et al., 2013).

Méndez-Zamora et al. (2015a) y Cázares-Gallegos et al. (2019) observaron mayor peso al sacrificio y rendimiento de la canal caliente al suplementar AEOM. Según estos autores, el aumento de los niveles de las moléculas activas carvacrol y timol, como componentes del AEO, puede haber reducido el peso de las vísceras. Este comportamiento de estimulación del carvacrol para mejorar la ganancia de peso puede deberse al mejoramiento en la eficiencia del uso del alimento y alteraciones en la composición de la canal. Así, Méndez-Zamora et al. (2015a) encontraron que el nivel más alto de AEOM no mejora el peso de los pollos, lo cual afecta el rendimiento en canal. Por lo que es recomendable llevar a cabo investigaciones con niveles más bajos (100 a 300 ppm) de AEO para detectar que concentraciones mejoran el rendimiento en carne.

En pavos, Silva-Vázquez et al. (2017a) encontraron un aumento en el peso al sacrificio al suplementar AEOM, y el resultado se puede atribuir al timol y carvacrol, que estimulan la digestibilidad y aumentan la absorción de nutrientes (Alali et al., 2013; Kücükylmaz et al., 2014). Reyer et al. (2017) obtuvieron diferencias en la expresión de transportadores intestinales como PEPT1 (SLC15A1), GLUT2 y EAAT3 (SLC1A1) como indicadores para demostrar el efecto en el peso corporal y conversión alimenticia en pollos de engorda. Estos efectos del AEOM se pueden evaluar cuando es disuelto en el agua de bebida.

Hernández-Coronado et al. (2019) no encontraron diferencias cuando adicionaron el AEOM en agua de bebida. No obstante, la evaluación del AEO en dieta o en agua puede tener diversos efectos, por lo que es interesante contrastar los posibles efectos usando diferentes medios de suplementación.

Previas han informado sobre el consumo de agua con la suplementación de AEOM; sin embargo, Silva-Vázquez et al. (2018) encontraron ligeros aumentos en el consumo de agua. Hernández-Coronado et al. (2019) obtuvieron menores consumos de agua. Los resultados de Méndez-Zamora et al. (2015a) y Silva-Vázquez et al. (2018) con AEOM indicaron que podría influir en el rendimiento de piezas de la canal (Cuadro 2).

Por otra parte, el AEOM podría afectar el contenido de lípidos, depositados como grasa en el tejido muscular. Méndez-Zamora et al. (2015b) encontraron diferencias en la composición de grasa de la carne de pechuga en pollos de engorda que recibieron 0.40 y 0.80 g de AEOM (60 % de carvacrol y 40 % de timol)/kg de alimento, lo que indica que las dosis altas de AEOM podrían aumentar el contenido de grasa y proteína, pero disminuir el rendimiento de carne.

En relación a la textura de la carne de pollos, Park et al. (2014) indicaron que los extractos de AE en las dietas pueden influir en las propiedades de textura de la carne de pollo, aunque indicaron las razones de estos resultados como desconocidas. En el estudio de Cázares-Gallegos et al. (2019) mencionaron que la suplementación con AEOM aumentó la dureza, cohesión y resiliencia de la carne; así mismo, Hernández-Coronado et al. (2019) indicaron que los valores de fuerza de corte, cohesión y resiliencia difirieron con la suplementación de AEOM. Esos resultados indican que el AEOM suplementado podría tener efectos sobre la textura de la carne de pechuga, principalmente sobre la fuerza de corte en función de la fibra muscular y contenido de agua. Dado que hay una falta de

información sobre los efectos de textura de los extractos de plantas, estudios son necesarios para determinar que estructuras o componentes de la carne son modificadas cuando extractos de plantas aromáticas son usados en las dietas de pollos.

Por otro lado, la evaluación sensorial de la carne es un método para examinar los atributos percibidos por los consumidores. Cázares-Gallegos et al. (2019) afirmaron que los AEOM en la dieta pueden mejorar el sabor y textura de la carne de pechuga de pollo. Hernández-Coronado et al. (2019) indicaron que la suplementación de AEOM en el agua de bebida de pollos de engorda causa diferencias en el olor, sabor y aceptabilidad general de la carne de pechuga; esta mejora en la aceptación general del consumidor puede relacionarse con las propiedades antioxidantes de los polifenoles y flavonoides del AEOM, y eso limitaría el nivel de oxidación principalmente de los lípidos (Chamorro et al., 2015; Vlaicu et al., 2022), mejorando la estabilidad oxidativa (Kirkpinar et al., 2014) y en consecuencia la aceptación de la carne de pollo. Esto podría esclarecerse si la oxidación de lípidos, efecto antimicrobiano y conservación de alimentos de origen animal mejoran cuando el AEOM es usado en las dietas para la engorda de animales, su carne y transformación a productos cárnicos.

Aceite de orégano Mexicano en la calidad de los productos cárnicos

Los extractos de especias como el AEOM mejoran las propiedades sensoriales de la carne de pollo; además, los AE inhiben el desarrollo microbiano, retardan la oxidación de lípidos y reducen la producción de amonio (proteólisis) (Zhang et al., 2016). Probablemente, la carne obtenida desde la producción de animales alimentados con dietas suplementadas con AEO puede proporcionar esos efectos positivos en la producción de derivados cárnicos.

El AEOM puede prolongar la vida anaquel y mejorar el aroma y aceptabilidad de la carne (Herrera-Balandrano et al., 2020) (Cuadro 3). El orégano puede tener mayor capacidad antioxidante (CA) que otras plantas (Vallverdú-Queralt et al., 2014). La CA del AEOM se reportó por Rocha-Guzmán et al. (2007) y Martínez-Rocha et al. (2008), quienes identificaron flavonoides y ácido rosmarínico, lo cual es una fuente de compuestos bioactivos polares. La CA podría estar asociada con alta concentración de ácido rosmarínico y naringinina presentes en los extractos OM (Martínez-Rocha et al., 2008). También, el ácido rosmarínico se encuentra en el AEOM en 124.8 mg g⁻¹, mientras que el *Origanum vulgare* solo llega a concentraciones máximas de 60 mg/g (Yan et al., 2016). El ácido rosmarínico tiene alta CA, que lo hace útil para sustituir antioxidantes utilizados en la industria alimentaria como el hidroxitolueno butilado (BHT), hidroxianisol butilado (BHA) y nitritos.

Un experimento *in vivo* de pollos de engorda demostró que la suplementación con AEOM mantiene la estabilidad de la oxidación de lípidos en la carne cocinada, y los valores del potencial antioxidante de OM fueron similares a los de la vitamina E a 100 mg kg⁻¹ de

alimento, sin efectos negativos en los parámetros de producción de pollos de engorda (Ávila-Ramos et al., 2012). Debido al timol y carvacrol, el AEOM puede inhibir patógenos y usarse en agua como desinfectantes en los alimentos.

Gracia-Valenzuela et al. (2014) encontraron que el crecimiento de *Vibrio* se inhibía cuando camarones consumieron AEOM en su dieta. Cantú-Valdéz et al. (2020) reportaron que la carne molida de res tratada con los AEO *Lippia berlandieri* Schauer y *Poliomintha longiflora* Gray (100 mg kg⁻¹) mejoró el color durante el tiempo de almacenamiento (Cuadro 3). Así mismo, el AEOM puede sustituir 0.1% de orégano en polvo (Perales-Jasso et al., 2018) y 2.4% de vinagre (Charles-Avilés et al., 2019) en la formulación de chorizo mexicano (Cuadro 3). En estos estudios se demostró que el AEOM mejoró la vida de anaquel en 7 días a 4 °C, por lo que el análisis del AEOM debe evaluarse durante la conservación de los alimentos para evidenciar la presencia de sus moléculas.

1 **Cuadro 3. Efectos del aceite de orégano en los productos cárnicos.**

Tratamiento	Producto	Propiedades fisicoquímicas	Vida de anaquel	Aceptación sensorial	Referencia
Dosis 2000 y 4000 ppm en el marinado (<i>Lippia berlandieri</i> Schauer)	Pechugas de pollo	↑ color ↑ dureza	↑ capacidad antioxidante ↓ conteo microbiológico	↑ olor ↑ aceptación general	Herrera-Balandrano et al. 2020
Dosis 0.1% en formulación de chorizo (<i>Lippia berlandieri</i> Schauer)	Chorizo de cerdo	↑ color ↑ análisis de textura		↑ olor a orégano	Perales-Jasso et al. 2018
Dosis 2.4 % en la formulación de chorizo (<i>Lippia berlandieri</i> Schauer)	Chorizo de cerdo	↑ color rojo ↑ CRA ↓ FC	↓ conteo microbiológico	↑ olor a orégano ↑ aceptación general	Charles-Avilés et al. 2019.
Tratamiento con una dosis de 100 ppm (<i>Lippia berlandieri</i> Schauer y <i>Poliomintha longiflora</i> Grey)	Carne molida de res	↑ color ↓ fuerza de corte ↓ pérdida por cocción			Cantú-Valdéz et al. 2020
Tratamiento a la carne con microcápsulas de 4 mg/mL (<i>Lippia graveolens</i> Kunth) combinado con 11 mg/mL de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	carne de cerdo recubierta		↓ crecimiento de microorganismos	↑ olor ↑ color	Hernández-Hernández et al. 2019

2 FC= Fuerza de corte CRA= Capacidad de retención de agua.

Un efecto del AEOM como aditivo a la carne es en color. Esto puede deberse a la interacción de las moléculas del AEOM con la estructura de la mioglobina o grasa de la carne. Por ejemplo, algunos estudios indicaron que el color amarillo (b*) de la pechuga podría atribuirse al alto contenido de carotenoides del orégano (Kirkpinar et al., 2014; Méndez-Zamora et al., 2015b; Cázares-Gallegos et al., 2019; Hernández-Coronado et al., 2019). Otros estudios pueden determinar el contenido de carotenoides, timol y carvacrol del AEOM, así como en la carne para evidenciar si son depositados en la carne hasta los productos cárnicos cuando las aves son alimentadas con dietas suplementadas con AEOM. Si esto llega a demostrarse, la prolongación de la vida de anaquel de los derivados cárnicos puede ser explicada y mejorada. Información que ha sido postulada por los estudios realizados en años recientes.

CONCLUSIONES

El aceite esencial de orégano mexicano tiene efecto positivo en la producción y calidad de la carne de corderos, conejos, pollos y pavos. El aceite de orégano puede ser considerado en otros estudios para evaluar su efecto en la productividad, producción y calidad de la carne. Investigaciones futuras podrían considerar determinar las moléculas de carvacrol y timol del aceite de orégano en la carne y productos cárnicos cuando las especies animales de abasto sean alimentadas con dietas suplementadas con aceite de orégano mexicano.

LITERATURA CITADA

- Alali, W. Q., Hofacre, C. L., Mathis, G. F. y Faltys, G. (2013). Effect of essential oil compound on shedding and colonization of *Salmonella enterica* serovar Heidelberg in broilers. *Poultry Science*, 92(3), 836-841. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.2012-02783>
- Aquino-López, J. L., Chávez-Martínez, A., García-Macías, J. A., Méndez-Zamora, G., Rentería-Monterrubio, A. L., Dalle-Zotte, A. y García-Flores, L. R. (2020). Essential oil and bagasse of oregano (*Lippia berlandieri* Schauer) affect the productive performance and the quality of rabbit meat. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(3), 701-717.
- Ávila-Ramos, F., Pro-Martínez, A., Sosa-Montes, E., Cuca-García, J. M., Becerril-Pérez, C. M., Figueroa-Velasco, J. L., y Narciso-Gaytán, C. (2012). Effects of dietary oregano essential oil and vitamin E on the lipid oxidation stability of cooked chicken breast meat. *Poultry Science*, 91(2), 505-511. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.2011-01731>
- Barraza-Santos, G. C., Hernández-Martínez, C. A., Sinagawa-García, S. R., Luna-Maldonado, A. I., Flores-Girón, E., Kawas-Garza, J. R., López-Puga, J. C., y Méndez-Zamora, G. (2021). Efecto de aceites esenciales de orégano en la calidad

de la carne de codornices. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2).

<http://dx.doi.org/10.19136/era.a8n2.2709>

Bautista-Hernández, I., Aguilar, C. N., Martínez-Ávila, G. C., Torres-León, C., Iliana, A., Flores-Gallegos, A. C., Kumar, D. & Chávez-González, M. L. (2021). Mexican oregano (*Lippia graveolens* Kunth) as source of bioactive compounds: A review. *Molecules*, 26(17), 5156. <https://doi.org/10.3390/molecules26175156>

Cantú-Valdéz, J. A., Gutiérrez-Soto, G., Hernández-Martínez, C. A., Sinagawa-García, S. R., Quintero-Ramos, A., Hume, M. E., Herrera-Balandrano, D.D. & Méndez-Zamora, G. (2020). Mexican oregano essential oils as alternatives to butylated hydroxytoluene to improve the shelf life of ground beef. *Food science & nutrition*, 8(8), 4555-4564. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1767>

Cardinali, R., Cullere, M., Dal Bosco, A., Mugnai, C., Ruggeri, S., Mattioli, S., Ruggeri, S., Mattioli, S., Castellini, C., Trabalza Marinucci, M., y Dalle Zotte, A. (2015). Oregano, rosemary and vitamin E dietary supplementation in growing rabbits: Effect on growth performance, carcass traits, bone development and meat chemical composition. *Livestock Science*, 175, 83-89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2015.02.010>

Cázares-Gallegos, R., Silva-Vázquez, R., Hernández-Martínez, C. A., Gutiérrez-Soto, J. G., Kawas-Garza, J. R., Hume, M. E., y Méndez-Zamora, G. M. (2019). Performance, carcass variables, and meat quality of broilers supplemented with dietary Mexican oregano oil. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 21. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2018-0801>

Chamorro, S., Viveros, A., Rebolé, A., Rica, B. D., Arijá, I., y Brenes, A. (2015). Influence of dietary enzyme addition on polyphenol utilization and meat lipid oxidation of chicks

fed grape pomace. *Food Research International*, 73, 197-203.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.054>

Charles-Avilés, J. C., González-Garza, C. G., Herrera-Balandrano, D. D., Hernández-Martínez, C. A., Gutiérrez-Soto, G., Silva-Vázquez, R., y Méndez-Zamora, G. (2019). Oregano essential oil as vinegar substitute in pork chorizo formulation.

Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 18, 11-25.

<http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsza.2018.08.017>

Chen, G. C., Yang, J., Eggersdorfer, M., Zhang, W., y Qin, L. Q. (2016). N-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and risk of all-cause mortality among general populations: a meta-analysis. *Scientific Reports*, 6(1), 1-9.

<http://dx.doi.org/10.1038/srep28165>

Chowdhury, S., Mandal, G. P., Patra, A. K., Kumar, P., Samanta, I., Pradhan, S., y Samanta, A. K. (2018). Different essential oils in diets of broiler chickens: 2. Gut microbes and morphology, immune response, and some blood profile and antioxidant enzymes. *Animal Feed Science and Technology*, 236, 39-47.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.12.003>

Cui, H., Zhang, C., Li, C., y Lin, L. (2019). Antibacterial mechanism of oregano essential oil. *Industrial Crops and Products*, 139, 111498.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111498>

De Keyser, K., Dierick, N., Kanto, U., Hongsapak, T., Buyens, G., Kuterna, L., y Vanderbeke, E. (2019). Medium-chain glycerides affect gut morphology, immune- and goblet cells in post-weaning piglets: *In vitro* fatty acid screening with *Escherichia coli* and *in vivo* consolidation with LPS challenge. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(1), 221-230.

<http://dx.doi.org/10.1111/jpn.12998>

- De Preter, V., Machiels, K., Joossens, M., Arijis, I., Matthys, C., Vermeire, S., Rutgeerts, P. y Verbeke, K. (2015). Faecal metabolite profiling identifies medium-chain fatty acids as discriminating compounds in IBD. *Gut*, 64(3), 447-458. <http://dx.doi.org/10.1136/gutjnl-2013-306423>
- Díaz de León, D., González-Álvarez, M., Guzmán-Lucio, M. A., Núñez-Guzmán, G. R., y Moreno-Limón, S. (2020). The oregano of the genus *Lippia* (Verbenaceae) and *Poliomintha* (Lamiaceae) in the state of Nuevo León, Mexico. *Polibotánica*, (50), 1-18.
- Feng, J., Lu, M., Wang, J., Zhang, H., Qiu, K., Qi, G., y Wu, S. (2021). Dietary oregano essential oil supplementation improves intestinal functions and alters gut microbiota in late-phase laying hens. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(1), 1-15. <http://dx.doi.org/10.1186/s40104-021-00600-3>
- 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., y Alarcon-Rojo, A. D. (2020). Natural oregano essential oil may replace antibiotics in lamb diets: Effects on meat quality. *Antibiotics*, 9(5), 248. <http://dx.doi.org/10.3390/antibiotics9050248>
- Ghazi, S., Amjadian, T., y Norouzi, S. (2015). Single and combined effects of vitamin C and oregano essential oil in diet, on growth performance, and blood parameters of broiler chicks reared under heat stress condition. *International Journal of Biometeorology*, 59(8), 1019-1024. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-014-0915-4>
- Gracia-Valenzuela, M. H., Vergara-Jiménez, M. J., Baez-Flores, M. E., y Cabrera-Chavez, F. (2014). Antimicrobial effect of dietary oregano essential oil against *Vibrio* bacteria in shrimps. *Archives of Biological Sciences*, 66(4), 1367-1370. <http://dx.doi.org/10.2298/ABS1404367G>

- Hashemipour, H., Kermanshahi, H., Golian, A., y Veldkamp, T. (2013). Effect of thymol and carvacrol feed supplementation on performance, antioxidant enzyme activities, fatty acid composition, digestive enzyme activities, and immune response in broiler chickens. *Poultry Science*, 92(8), 2059-2069. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.2012-02685>
- Hassan, F., Mobarez, S., Mohamed, M., Attia, Y., Mekawy, A., y Mahrose, K. (2021). Zinc and/or selenium enriched spirulina as antioxidants in growing rabbit diets to alleviate the deleterious impacts of heat stress during summer season. *Animals*, 11(3), 756. <http://dx.doi.org/10.3390/ani11030756>
- Hernández-Coronado, A. C., Silva-Vázquez, R., Rangel-Nava, Z. E., Hernández-Martínez, C. A., Kawas-Garza, J. R., Hume, M. E., y Méndez-Zamora, G. (2019). Mexican oregano essential oils given in drinking water on performance, carcass traits, and meat quality of broilers. *Poultry Science*, 98(7), 3050-3058. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pez094>
- Hernández-Hernández, E., Castillo-Hernández, G., González-Gutiérrez, C. J., Silva-Dávila, A. J., Gracida-Rodríguez, J. N., García-Almendárez, B. E., Di Pierro, P., Vázquez-Landaverde P., y Regalado-González, C. (2019). Microbiological and physicochemical properties of meat coated with microencapsulated Mexican oregano (*Lippia graveolens* Kunth) and basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oils mixture. *Coatings*, 9(7), 414. <http://dx.doi.org/10.3390/coatings9070414>
- Herrera-Balandrano, D., Martínez-Rojas, D., Luna-Maldonado, A., Gutiérrez-Soto, G., Hernández-Martínez, A. A., Silva-Vázquez, R., Flores-Girón, E., Quitero-Ramos, A., y Méndez-Zamora, G., 2020. Conservación de pechugas de pollo con aceite esencial de orégano mexicano. *Biotechnia* 22(2), 119-127.

- Hurtado-Benavides, A. M., Pantoja-Daza, D., y Santacruz-Chazatar, L. (2015). Actividad inhibitoria del aceite esencial de *Lippia origanoides* HBK sobre el crecimiento de *Phytophthora infestans*. *Acta Agronómica*, 64(2), 116-124.
- Kamel, H. E. M., Al-Dobaib, S. N., Salem, A. Z., López, S., y Alaba, P. A. (2018). Influence of dietary supplementation with sunflower oil and quebracho tannins on growth performance and meat fatty acid profile of Awassi lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 235, 97-104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.11.006>
- Kim, Y. J., Jin, S. K., y Yang, H. S. (2009). Effect of dietary garlic bulb and husk on the physicochemical properties of chicken meat. *Poultry Science*, 88(2), 398-405. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.2008-00179>
- Kirkpinar, F. I. G. E. N., Ünlü, H. B., Serdaroğlu, M., y Turp, G. Y. (2014). Effects of dietary oregano and garlic essential oils on carcass characteristics, meat composition, colour, pH and sensory quality of broiler meat. *British Poultry Science*, 55(2), 157-166. <http://dx.doi.org/10.1080/00071668.2013.879980>
- Kücükyilmaz, K., Bozkurt, M., Cinar, M., Catli, A. U., Bintas, E., y Erkek, R. (2014). The effects of an organic rearing system and dietary supplementation of an essential oil mixture on performance and meat yield of slow-growing broilers in two seasons. *South African Journal of Animal Science*, 44(4), 360-370. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v44i4.6>
- Llana-Ruiz-Cabello, M., Gutiérrez-Praena, D., Puerto, M., Pichardo, S., Jos, Á., y Cameán, A. M. (2015). In vitro pro-oxidant/antioxidant role of carvacrol, thymol and their mixture in the intestinal Caco-2 cell line. *Toxicology in vitro*, 29(4), 647-656. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tiv.2015.02.006>

- Llorens, E., Fernández-Crespo, E., Vicedo, B., Lapeña, L., y García-Agustín, P. (2013). Enhancement of the citrus immune system provides effective resistance against *Alternaria* brown spot disease. *Journal of Plant Physiology*, 170(2), 146-154.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2012.09.018>
- Martínez-Rocha, A., Puga, R., Hernández-Sandoval, L., Loarca-Piña, G., y Mendoza, S. (2008). Antioxidant and antimutagenic activities of Mexican oregano (*Lippia graveolens* Kunth). *Plant Foods for Human Nutrition*, 63(1), 1-5.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11130-007-0061-9>
- Meineri, G., Cornale, P., Tassone, S., y Peiretti, P. G. (2016). Effects of Chia (*Salvia hispanica* L.) seed supplementation on rabbit meat quality, oxidative stability and sensory traits. *Italian Journal of Animal Science*. 6(1), 45-49.
<http://dx.doi.org/10.4081/ijas.2010.e10>
- Méndez-Zamora, G., Durán Meléndez, L. A., Hume, M. E., y Silva Vázquez, R. (2017). Performance, blood parameters, and carcass yield of broiler chickens supplemented with Mexican oregano oil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46, 515-520.
<http://dx.doi.org/10.1590/s1806-92902017000600006>
- Méndez-Zamora, G., Durán-Meléndez, L. A., Aquino-López, J. L., Santellano-Estrada, E., y Silva-Vázquez, R. (2016). Efecto del aceite de orégano (*Poliomintha longiflora* Gray) sobre la productividad y calidad de carne de conejos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(8), 259-265.
- Méndez-Zamora, G., García Macías, J. A., Durán-Meléndez, L. A., Herman-Lara, E., Santellano Estrada, E., y Silva Vázquez, R. (2015a). Aceite esencial de orégano (*Lippia berlandieri* Schauer) en variables de calidad de la canal de pollo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(4), 41-51.

Méndez-Zamora, G.; García-Macías, J. A.; Santellano-Estrada, E.; Durán-Meléndez, L. A. y Silva-Vazquez, R. (2015b). Aceite de orégano sobre la calidad de pechuga de pollos de engorda. *Investigación y Ciencia* 65:5-12.

Monu, E. A., Techathuvanan, C., Wallis, A., Critzer, F. J., y Davidson, P. M. (2016). Plant essential oils and components on growth of spoilage yeasts in microbiological media and a model salad dressing. *Food Control*, 65, 73-77.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.01.018>

Mora-Zúñiga, A. E., Treviño-Garza, M. Z., Amaya Guerra, C. A., Galindo Rodríguez, S. A., Castillo, S., Martínez-Rojas, E., Rodríguez-Rodríguez, J., y Báez-González, J. G. (2022). Comparison of chemical composition, physicochemical parameters, and antioxidant and antibacterial activity of the essential oil of cultivated and wild Mexican oregano *Poliomintha longiflora* Gray. *Plants*, 11(14), 1785.
<http://dx.doi.org/10.3390/plants11141785>

Muñoz-Cuautle, A. (2020). Aceite esencial de orégano *Lippia graveolens* como nutracéutico en la dieta de ovinos en crecimiento. Tesis de doctorado. Colegio de Posgraduados. Texcoco, Estado de México, México.

Park, J. H., Kang, S. N., Chu, G. M., y Jin, S. K. (2014). Growth performance, blood cell profiles, and meat quality properties of broilers fed with *Saposhnikovia divaricata*, *Lonicera japonica*, and *Chelidonium majus* extracts. *Livestock Science*, 165, 87-94.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2014.04.014>

Perales-Jasso, Y. J., Gamez-Noyola, S. A., Aranda-Ruiz, J., Hernandez-Martinez, C. A., Gutierrez-Soto, G., Luna-Maldonado, A. I., Silva-Vázquez, R., Hume, M. E., y

- Mendez-Zamora, G. (2018). Oregano powder substitution and shelf life in pork chorizo using Mexican oregano essential oil. *Food Science & Nutrition*, 6(5), 1254-1260. <http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.668>
- Quiroz-Velásquez, J. D. C., Sánchez Várela, A., Torres Ortega, J. A., García Olivares, J. G., Salazar Bravo, Á., y Hernández Mendoza, J. L. (2017). Cuantificación por HPLC del contenido de timol y carvacrol en *Lippia Graveolens* HBK sl, nativa de Reynosa, Tamaulipas, México. *Revista Boliviana de Química*, 34(1), 33-39.
- Realini, C. E., Pavan, E., Purchas, R. W., Agnew, M., Johnson, P. L., Bermingham, E. N., y Moon, C. D. (2021). Relationships between intramuscular fat percentage and fatty acid composition in *M. longissimus lumborum* of pasture-finished lambs in New Zealand. *Meat Science*, 181, 108618. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108618>
- Reyer, H., Zentek, J., Männer, K., Youssef, I. M., Aumiller, T., Weghuber, J., Wimmers, K., y Mueller, A. S. (2017). Possible molecular mechanisms by which an essential oil blend from star anise, rosemary, thyme, and oregano and saponins increase the performance and ileal protein digestibility of growing broilers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(32), 6821-6830. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.7b01925>
- Reyes-Becerril, M., Gijón, D., Angulo, M., Vázquez-Martínez, J., López, M. G., Junco, E., Armenta, J., Guerra, K. y Angulo, C. (2021). Composition, antioxidant capacity, intestinal, and immunobiological effects of oregano (*Lippia palmeri* Watts) in goats: preliminary *in vitro* and *in vivo* studies. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 1-12. <http://dx.doi.org/10.1007/s11250-020-02450-z>
- Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., González-Laredo, R. F., Ramos-Gómez, M., Rodríguez-Muñoz, M. E., Reynoso-Camacho, R., Rocha-Uribe, A., y Roque-

- Rosales, M. R. (2007). Antioxidant effect of oregano (*Lippia berlandieri* v. Shauer) essential oil and mother liquors. *Food Chemistry*, 102(1), 330-335.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.024>
- Rogers, H. B., Brooks, J. C., Martin, J. N., Tittor, A., Miller, M. F., Y Brashears, M. M. (2014). The impact of packaging system and temperature abuse on the shelf-life characteristics of ground beef. *Meat Science*, 97(1), 1-10.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.11.020>
- Sabow, A. B., Sazili, A. Q., Aghwan, Z. A., Zulkifli, I., Goh, Y. M., Ab Kadir, M. Z. A., Nakyinsige, K., Kaka, U., y Adeyemi, K. D. (2016). Changes of microbial spoilage, lipid-protein oxidation and physicochemical properties during postmortem refrigerated storage of goat meat. *Animal Science Journal*, 87(6), 816-826.
<http://dx.doi.org/10.1111/asj.12496>
- Sánchez-Zamora, N., Silva-Vázquez, R., Rangel-Nava, Z. E., Hernández-Martínez, C. A., Kawas-Garza, J. R., Hume, M. E., Herrera-Balandrano, D.D., y Méndez-Zamora, G. (2019). Inulina de agave y aceite de orégano mejoran la productividad de pollos de engorda. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 523-534.
<http://dx.doi.org/10.19136/era.a6n18.2197>
- Silva Vázquez, R. S., Duran-Meléndez, L. A., Santellano-Estrada, E., Rodríguez-Muela, C., Villalobos-Villalobos, G., Méndez-Zamora, G., y Hume, M. E. (2015). Performance of broiler chickens supplemented with Mexican oregano oil (*Lippia berlandieri* Schauer). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44, 283-289.
- Silva-Vázquez, R., Duran-Meléndez, L. A., Hernández-Martínez, C. A., Gutiérrez-Soto, J. G., Hume, M. E., y Méndez-Zamora, G. (2018). Effects of two sources of Mexican

oregano oil on performance, blood profile, carcass variables, and meat of broilers.

Revista Brasileira de Zootecnia, 47, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1590/rbz4720170198>

Silva-Vázquez, R., Duran-Melendez, L. A., Mendez-Zamora, G., Estrada, E. S., Xie, M., Dunford, N. T., y Goad, C. (2017a). Antioxidant activity of essential oils from various Mexican oregano ecotypes and oil fractions obtained by distillation. *JSM Chemistry*, 5(3), 1046.

Silva-Vázquez, R., García-Macías, J. A., Duran-Meléndez, L. A., Hume, M. E., y Méndez-Zamora, G. (2017b). Mexican oregano (*Lippia berlandieri* Schauer) oil on turkey slaughter quality. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(10), 177-182. <http://dx.doi.org/10.19136/era.a4n10.742>

Simitzis, P. E., Symeon, G. K., Charismiadou, M. A., Bizelis, J. A., y Deligeorgis, S. G. (2010). The effects of dietary oregano oil supplementation on pig meat characteristics. *Meat Science*, 84(4), 670-676. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.11.001>

Starčević, K., Krstulović, L., Brozić, D., Maurić, M., Stojević, Z., Mikulec, Ž., Bajić, M., y Mašek, T. (2015). Production performance, meat composition and oxidative susceptibility in broiler chicken fed with different phenolic compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1172-1178. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.6805>

Vallverdú-Queralt, A., Regueiro, J., Martínez-Huélamo, M., Alvarenga, J. F. R., Leal, L. N., y Lamuela-Raventos, R. M. (2014). A comprehensive study on the phenolic profile of widely used culinary herbs and spices: Rosemary, thyme, oregano, cinnamon, cumin and bay. *Food chemistry*, 154, 299-307. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.106>

- Vlaicu, P. A., Untea, A. E., Turcu, R. P., Saracila, M., Panaite, T. D., y Cornescu, G. M. (2022). Nutritional composition and bioactive compounds of basil, thyme and sage plant additives and their functionality on broiler thigh meat quality. *Foods*, 11(8), 1105. <http://dx.doi.org/10.3390/foods11081105>
- Wade, M. R., Manwar, S. J., Kuralkar, S. V., Waghmare, S. P., Ingle, V. C., y Hajare, S. W. (2018). Effect of thyme essential oil on performance of broiler chicken. *J. Entomol. Zool. Stud*, 6(3), 25-28.
- Wang, Z., He, Z., Gan, X., y Li, H. (2018). Interrelationship among ferrous myoglobin, lipid and protein oxidations in rabbit meat during refrigerated and superchilled storage. *Meat Science*, 146, 131-139. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.08.006>
- Wang, Z., Tu, J., Zhou, H., Lu, A., y Xu, B. (2021). A comprehensive insight into the effects of microbial spoilage, myoglobin autoxidation, lipid oxidation, and protein oxidation on the discoloration of rabbit meat during retail display. *Meat Science*, 172, 108359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108359>
- Xu, R. (2015). Important bioactive properties of omega-3 fatty acids. *Italian Journal of Food Science*, 27(2), 129-135.
- Yan, F., Azizi, A., Janke, S., Schwarz, M., Zeller, S., y Honermeier, B. (2016). Antioxidant capacity variation in the oregano (*Origanum vulgare* L.) collection of the German National Genebank. *Industrial Crops and Products*, 92, 19-25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.07.038>
- Zárate, R., Jaber-Vazdekis, N., Tejera, N., Pérez, J. A., y Rodríguez, C. (2017). Significance of long chain polyunsaturated fatty acids in human health. *Clinical and Translational Medicine*, 6(1), 1-19. <http://dx.doi.org/10.1186/s40169-017-0153-6>

- Zhang, H., Wu, J., y Guo, X. (2016). Effects of antimicrobial and antioxidant activities of spice extracts on raw chicken meat quality. *Food Science and Human Wellness*, 5(1), 39-48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fshw.2015.11.003>
- Zhang, X., Han, L., Hou, S., Raza, S. H. A., Wang, Z., Yang, B., Sun, S., Ding, B., Gui, L., Simal-Gandara, J., Shukry, M., Sayed, S. M., y Al Hazani, T. M. I. (2022). Effects of different feeding regimes on muscle metabolism and its association with meat quality of Tibetan sheep. *Food Chemistry*, 374, 131611. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131611>
- Zhou, R., Wu, J., Lang, X., Liu, L., Casper, D. P., Wang, C., Zhang, L., y Wei, S. (2020). Effects of oregano essential oil on *in vitro* ruminal fermentation, methane production, and ruminal microbial community. *Journal of Dairy Science*, 103(3), 2303-2314. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2019-16611>

3. FERMENTACIÓN RUMINAL *IN VITRO* DE UNA DIETA PARA OVINOS AL VARIAR ORIGEN Y DOSIS DE ACEITE ESENCIAL DE ORÉGANO

***IN VITRO* RUMINAL FERMENTATION OF A DIET FOR LAMBS BY VARYING ORIGIN AND DOSE OF OREGANO ESSENTIAL OIL**

Alvin Gustavo Carrillo-Hurtado¹, Luis Alberto Miranda-Romero¹, Noé Galindo-Dorantes, Jorge Ramsy Kawas-Garza², Gerardo Mendez-Zamora³, Daniela Sarai Rico-Costilla², Yarellys Ramos-Zayas², Maximino Huerta-Bravo^{1*}

¹*Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia. Km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo CP. 56230 Estado de México, México. alvin_cahu@hotmail.com, microbiologia.pecuaria08@gmail.com, galindodn@gmail.com, maximino_h@hotmail.com*

²*Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Francisco Villa S/N, Ex Hacienda El Canadá, CP. 66050. Escobedo, Nuevo León, México. jorge.kawas@mnademexico.com, yareellysraza@hotmail.com,*

³*Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. Francisco Villa S/N, Ex Hacienda El Canadá, CP. 66050. Escobedo, Nuevo León, México. mezage@hotmail.com*

**Corresponding author*

Summary

Background: Oregano essential oil (OEO) is a natural alternative to conventional additives. OEO can improve efficiency in ruminant diets, but the magnitude of the impact may vary according to the origin and dose applied. **Objective:** To analyze the *in vitro* ruminal fermentation pattern by changing the origin and dose of OEO. **Methodology:** The treatments had a 2*5+1 factorial arrangement, the factors were the origin: Mexican (MOEO) and European (EOEO), and the dose: at levels of 70, 140, 280, 560, and 1120 ppm of the wet base substrate plus a control without addition of OEO. Contrasts and orthogonal polynomials were used to compare means. The variables quantified were: fast (FRF), medium (FMF) and slow fermentation fractions, as well as their total fermentable fraction (FFT); *in vitro* degradability of dry matter at 24 h (IVDMD24) and 72 h (IVDMD72); the *in vitro* degradability of organic matter at 72 h (IVOMD72); lag phase (L); fermentation rate (S); maximum volume (mV); VFA and CH₄ production; acetic/propionic ratio (A/P); global warming potential index (GWPI) and environmental impact indicator (EII). **Results.** MOEO linearly affects FMF FTF, and Vm as the dose increases, while AEOE is a quadratic trend hence, MOEO is different from the control. IVOMD72 tends to decrease as the dose of the two OEOs increases; increasing the inclusion of MOEO decreases A/P linearly; EOEO and MOEO are different from the control in VFA production. There were no effects on environmental impact variables. **Implications.** The components of MOEO have greater antimicrobial capacity against rumen bacteria than AEOE, MOEO could act similarly to the impact of feed additives such as ionophores in reducing A/P. **Conclusion.** MOEO can better modulate ruminal fermentation than EOEO but decreases digestion and total gas production more.

Key words: Oregano essential oil, origin, rumen fermentation, sheep.

Resumen

Antecedentes. El aceite esencial de orégano (AEO) es una alternativa natural a los aditivos convencionales. El AEO puede mejorar la eficiencia en dietas de rumiantes, pero la magnitud del impacto puede variar según el origen y la dosis aplicada. **Objetivo.** Analizar el patrón de fermentación ruminal *in vitro* al variar el origen y dosis del AEO. **Metodología.** Los tratamientos tuvieron un arreglo factorial 2*5+1, los factores fueron el origen del AEO: mexicano (AEOM); y europeo, (AEOE) y la dosis: en niveles de 70, 140, 280, 560 y 1120 ppm del sustrato base húmeda más un testigo sin adición de AEO. Se utilizaron contrastes y polinomios ortogonales para la comparación de las medias. Las variables cuantificadas fueron: fracciones de rápida (FRF), mediana (FMF) y lenta fermentación, así como su fracción fermentable total (FFT); degradabilidad *in vitro* de la materia seca a las 24 h (DIVMS24) y 72 h (DIVMS72); la degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica a las 72 h (DIVMO72); Fase lag (L); tasa de fermentación (S); volumen máximo (Vm); producción de AGV's y de CH₄; relación acético/propiónico (A/P); índice potencial de calentamiento global (IPCG) e indicador de impacto ambiental (IIA). **Resultados.** El AEOM afecta linealmente la FMF FTF y Vm conforme se incrementa

la dosis, mientras que el AEOE es una tendencia cuadrática por ello AEOM es diferente al control. La DIVMO72 tiende a disminuir conforme se incrementa la dosis de los dos AEO; el aumento de la inclusión de AEOM disminuye A/P de marea lineal; AEOE y AEOM son diferentes al testigo en la producción de AGV's. No se presentaron efectos en las variables de impacto ambiental. **Implicaciones.** Los componentes del AEOM tienen mayor capacidad antimicrobiana contra las bacterias del rumen que el AEOE, el AEOM podría actuar de manera similar a los efectos de los aditivos alimenticios como los ionóforos al reducir A/P. **Conclusión.** El AEOM puede modular de mejor manera de la fermentación ruminal que el AEOE pero disminuye más la digestión y la producción de gas total.

Palabras clave: Aceite esencial de orégano, origen, fermentación ruminal, ovinos

Introducción

El aceite esencial de orégano (AEO) es un aditivo fitogénico de los más divulgados como una alternativa natural a los aditivos convencionales prohibidos para su uso comercial, como es el caso de la Unión Europea (Benchaa et al., 2008; Valenzuela-Grijalva et al., 2017). Sus componentes son carvacrol, γ -terpineno, timol, p-cimeno y linalol, y la concentración de estos puede variar según el origen y el tipo de AEO (Sivropoulou et al., 1996; Baser, 2002). La información sobre el uso del AEO en la producción animal, particularmente en rumiantes, es limitada en comparación con su uso en la engorda de pollos, donde existen estudios que sugieren beneficios (Ghazi et al., 2015; Méndez-Zamora et al., 2016; Peng et al., 2016; Reyher et al., 2017; Silva-Vázquez et al., 2018).

El AEO como aditivo en dietas de rumiantes puede aumentar la eficiencia al incrementar la digestibilidad y reducir la liberación de metano, importante gas de efecto invernadero (Cobellins et al., 2016; FAO, 2010). El impacto del AEO mencionado es a través de modificar el patrón de fermentación ruminal por actividad antioxidante y antimicrobiana asociada a los componentes timol y carvacrol encontrado en él (Calvo-Irabién, 2018; Piñón et al., 2015; Xu et al., 2008).

El estudio de la fermentación ruminal puede hacerse en condiciones *in vitro* ya que ahorra recursos, a la vez que permite prever lo que podría suceder *in vivo* (Danielsson et al., 2017). La magnitud del efecto del AEO en el patrón de fermentación ruminal puede variar con el origen del orégano (Mata-González y Meléndez-González, 2005). A la par del origen, la dosis aplicada a la dieta también se ha identificado como una posible fuente de variación en la magnitud de la respuesta de la fermentación ruminal (Castillejos et al., 2008), por lo que conviene estudiar el impacto de estos dos factores. El objetivo del estudio fue analizar el patrón de fermentación ruminal *In vitro* al variar el origen y dosis del AEO, para generar información que acrediten el uso del AEO como aditivo fitogénico en dietas por rumiantes.

Materiales y métodos

El proceso de fermentación ruminal *in vitro* se realizó en el Laboratorio de Microbiología Pecuaria, del Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo y en el Laboratorio de Nutrición y Metabolismo Animal, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Diseño experimental y tratamientos

El diseño de tratamientos fue factorial, se utilizaron dos factores: origen de AEO (dos niveles) y dosis de adición (cinco niveles:), también se tuvo un testigo sin adición de AEO. El origen de AEO fue: orégano mexicano, *Lippia berlandieri* Schauer (AEOM); y europeo, *Origanum vulgare* (AEOE) y las dosis fueron: 70, 140, 280, 560 y 1120 ppm del sustrato base húmeda. La composición de cada uno de los AEO se presenta en el Cuadro 1. El diseño experimental fue completamente al azar con 6 repeticiones, considerando como unidad experimental un vial de 125 mL.

Obtención de líquido ruminal.

La extracción de líquido ruminal se realizó siguiendo la norma nacional mexicana sobre uso animal (NOM-062-ZOO, 1999). Se obtuvo contenido ruminal de tres ovinos adultos hembra mediante sonda esofágica, que consumían 2.5 kg por día de alimento concentrado (Cuadro 1) formulado para la engorda intensiva de corderos de acuerdo con las especificaciones del NASEM (2007). El alimento se ofreció dos veces al día (7:30 y 15:00 h). Los ovinos se adaptaron a la dieta por 8 d previos a la primera toma de inóculo para las pruebas de fermentación *in vitro*. La toma de inóculo ruminal (aproximadamente 0.900 L) se realizó en la mañana 2:00 h postprandial, inmediatamente después de su colección se filtró a través de 8 capas de tela de gasa (grado 50).

Cuadro 4. Componentes activos de los AEO utilizados.

Componente	AEOM (%)	AEOE (%)
Beta. -Myrcene	0.59	5.54
Alpha. -Terpinene	0.68	6.25
p-Cymene	14.10	6.51
Eucalyptol	0.14	
Gamma.-Terpinene	2.69	7.42
Linalol	0.16	
4-Terpineol	0.32	11.60
Methyl thymyl ether	0.16	
Thymol	4.65	16.52
Carvacrol	67.94	17.37
Eugenol	0.23	
Thymol acetate	0.24	
Caryophyllene	2.13	
Alpha. Caryophyllene	1.46	24.13
Beta.-Bisabolene	0.23	
Caryophyllene oxide	0.96	

AEOM: Aceite esencial de orégano mexicano. AEOE: Aceite esencial de orégano europeo.

Producción de gas in vitro

La fermentación *in vitro* se realizó mediante la técnica de producción de gas siguiendo las directrices generales de Menke y Steingass (1988). Se hicieron dos corridas cada una con 72 viales. Se colocaron 500 mg del alimento concentrado (Cuadro 2) como sustrato en frascos ámbar de 125 mL de capacidad y se les añadieron simultáneamente, un flujo continuo de bióxido de carbono y 90 mL de inóculo ruminal diluido 1:9 con una solución mineral constituida de 680 mL de H₂O, 75 mL de solución A (6.0 g K₂HPO₄ por L de H₂O), 75 mL de solución B (6.0 g KH₂PO₄, 6.0 g (NH₄)₂SO₄, 12 g de NaCl, 2.45 g de MgSO₄ y 1.6 g de CaCl₂·2H₂O por L de H₂O), 50 mL de solución C (80 g de Na₂CO₃ por L de H₂O) y 20 mL de solución reducida (2.5 g de cisteína, 15 mL de NaOH (2 N), 2.5 g de Na₂S y 0.1 mL de (resazurina 1% por 100 mL). Posteriormente los frascos se mantuvieron bajo un flujo constante de CO₂ y se sellaron herméticamente con un tapón de goma y un anillo de aluminio como lo describen Theodorou et al. (1994) y se colocaron en un baño de agua a 39°C. El proceso de fermentación *in vitro* se realizó a dos tiempos de incubación 24 y 72 h, al término de cada uno la muestra se filtró para obtener el residuo no digerido.

Cuadro 5. Composición nutricional (base húmeda) del alimento utilizado para alimentación de los ovinos donadores de inóculo y como sustrato en los viales de fermentación *in vitro*.

Componente	%
Humedad	12.0
Proteína cruda	14.0
Grasa	2.0
Fibra cruda	6.5
Extracto libre de nitrógeno	60.5
Ceniza	5.0

Variables medidas y calculadas

Durante el proceso de la fermentación *in vitro* a las 72 h, se determinó la presión de gas con un manómetro (Metron, modelo: 63100, México) a 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48, 60 y 72 h de incubación (Blümmel y Lebzien 2001).

En el caso del proceso de la fermentación *in vitro* a las 24 h se determinó el volumen total de gas de fermentación, se midió con una jeringa de vidrio de 50 mL de capacidad, a las 6, 12, 18 y 24 h de incubación. En cada medición y después de registrar el volumen, el gas atrapado en la jeringa se transfirió a frascos de vidrio (125 mL de capacidad) herméticamente cerrados, los cuales tenían 45 mL de una solución 1M de hidróxido de potasio (KOH) se mezcló perfectamente el gas con la solución de KOH con el fin de hacer reaccionar todo el CO₂ con el KOH. El volumen de gas residual que retorna a la jeringa después de la mezcla corresponderá al volumen de metano más gases menores (Figura 1).

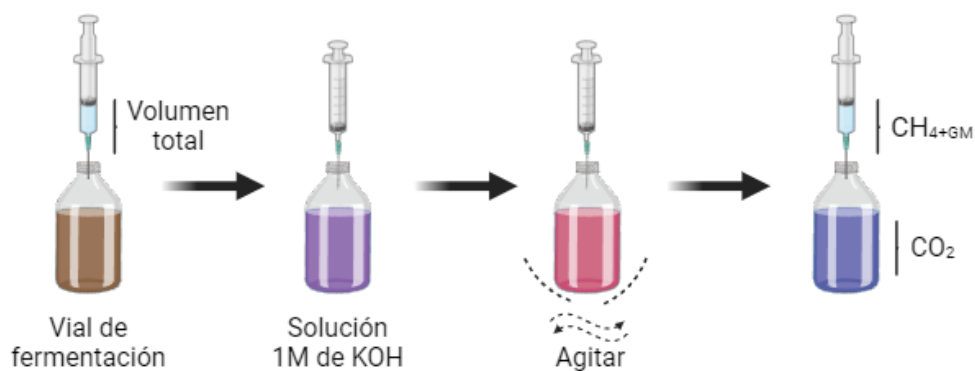


Figura 1. Método para obtener Metano más gases menores (CH_4+GM).

Al final de este periodo de incubación de 24 h y antes de filtrar para medir digestibilidad, se depositó 4.0 mL de líquido ruminal en tubos de plástico con 1.0 mL de ácido meta-fosfórico, el cual detuvo el proceso de fermentación. Los tubos se congelaron y almacenaron a 20°C hasta el momento del análisis. La cantidad de material residual de la muestra en fermentación se pesó a 24 y 72 h de incubación este peso fue luego de un secado a 60.0°C durante 48 h.

Con base a las determinaciones de fermentación y presión de gas se calculó: fracciones de fermentación (mg g^{-1} de alimento) rápida (FFR), media (FFM), lenta (FFL) y total (FFT); porcentaje de degradabilidad *in vitro* a 24 y 72 h (DIVMS24 y DIVMS72), y de degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica a 72 h (DIVMO72); volumen (V, $\text{mL g}^{-1}\text{MS}$); volumen máximo (V_m , mL g^{-1}), velocidad de fermentación (S, h^{-1}) y fase de retraso (L, h); proporción de ácidos grasos volátiles acético, propiónico y butírico ($\text{mmol } 100\text{mol}^{-1}$) y la relación acético:propiónico (A/P); metano (CH_4 , %) indicador potencial de calentamiento global (IPCG, $\text{CO}_2 \text{ eq MS}^{-1}$) e índice de impacto ambiental (IIA).

Fracciones de Fermentación. Se obtuvieron volúmenes fraccionales de gas acumulado para los intervalos de 0 a 8 h (V_{f0-8}), 8 a 24 h (V_{f8-24}) y 24 a 72 h (V_{f24-72}) de incubación. Los volúmenes resultantes se usaron para estimar las fracciones de fermentación FFR, FFM y FFL de cada tratamiento

de acuerdo con las ecuaciones de regresión lineal propuestas por Miranda et al. (2015): $FFR = Vf_{0-8} / 0.4266$, $FFM = Vf_{8-24} / 0.6152$, $FFL = Vf_{24-72} / 0.3453$, donde Vf_{0-8} = volumen de gas producido de 0 a 8 h de fermentación; Vf_{8-24} = volumen de gas producido de 8 a 24 h de fermentación; y Vf_{24-72} = volumen de gas producido de 24 a 72 h de fermentación. La suma de las tres fracciones será FFT.

Degradabilidad in vitro. Al final de cada período de incubación (24 y 72 h), se obtuvieron los residuos de cada muestra utilizando un embudo Buchner con filtro (papel de filtro). La degradabilidad *in vitro* de la MS se estimó secando el material residual a 60.0°C durante 48.0 h, y su porcentaje se calculó con base en la MS inicial y residual a las 24 h (DIVMS24) y 72 h (DIVMS72). La degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica (MO) se estimó incinerando el material residual a 500°C, y el porcentaje se calculó a partir de la MO inicial y residual solamente a las 72 h (DIVMO72) (Monforte-Briceño et al., 2005; Miranda et al., 2015).

Cinética de fermentación. Los valores de presión de gas (kg cm^{-3}) se transformaron a volumen ($\text{mL g}^{-1} \text{MS}$) de gas mediante la siguiente ecuación de regresión lineal: $V = (P + 0.0186) (0.0237)^{-1}$ (Elmasry et al., 2016), donde V = volumen de gas producido y P = presión generada en cada frasco. Los datos del volumen de gas se utilizaron para obtener los parámetros de la cinética de producción de gas, mediante el procedimiento de análisis no lineal (NLIN) de SAS (SAS, 2021) se usaron considerando el modelo logístico $V = V_m / (1 + e^{(2-4S)(t-L)})$ (Schofield y Pell, 1995), donde V = volumen de gas a lo largo del tiempo (t), V_m = volumen máximo de gas correspondiente a la digestión del sustrato (asíntota), S = velocidad de fermentación, similar a la velocidad de degradación, y L = tiempo requerido para que los microorganismos colonicen el sustrato.

Ácidos grasos volátiles. La proporción de AGV's se midió por la técnica de cromatografía en un cromatógrafo modelo Star 3400 Cx (Varían®, Palo Alto, CA, Estados Unidos), equipado con una columna ZB- WAX de 30 m $\times$ 0.53 mm $\times$ 0.5 μm (Phenomenex®, Torrance, CA, Estados Unidos) utilizando nitrógeno como gas de arrastre y un detector de tipo FID (detector de ionización de flama). Para determinar los AGV se calibró el equipo mediante las especificaciones del fabricante. Al momento del análisis las muestras se descongelaron, éstas antes de inyectarse al cromatógrafo se les preparó mediante una decantación del líquido ruminal en tubos de 5 mL (Vacutainer™, Becton Dickinson and Company®, Franklin Lakes, NJ, Estados Unidos) los cuales se centrifugaron a 10,000 g por 10 min en una centrifuga modelo Universal 320R (Hettich zentrifugen®, Tuttlingen, Alemania), después con una jeringa Hamilton se inyectaron en el cromatógrafo de gases.

El volumen inyectado del líquido al cromatógrafo fue de 1 μL , la temperatura del inyector y detector fue 250°C, mientras que para la columna primero se realizó un calentamiento a 90°C durante 2 minutos para después aumentar 20°C/minuto hasta llegar a una temperatura final de 200°C y estabilizarse durante 3

minutos. El software utilizado para el manejo del equipo, así como para la lectura de los cromatogramas fue el Software Control $\pm$ Varian Star 3400cx (Varian® Palo Alto, California, Estados Unidos).

Variables de impacto ambiental. El volumen de CH_{4+GM} se ajustó a metano teórico (CH₄) multiplicando por 0.77 cada valor de CH_{4+GM} (Zhong et al., 2016). Con los valores de CO₂ y CH₄ se obtuvo el IPCG, considerando un valor equivalente por metano de 23 (Berra et al., 2009) y la siguiente ecuación: IPCG (mL CO₂ eq g⁻¹ MS) = CO₂ (mL g⁻¹) + CH₄ (mL g⁻¹) $\times$ 23. El IIA correspondió a la relación del IPCG y el VTGF, de acuerdo con la ecuación: IIA (CO₂ eq MS⁻¹) = (IPCG / VTGF).

Análisis estadístico

Todas las variables se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) con el procedimiento del modelo lineal general GLM de SAS (SAS, 2021).

Para definir la tendencia de respuesta a los niveles de adición (dosis) se recurrió al análisis de los contrastes de polinomios ortogonales para determinar el efecto lineal, cuadrático o cúbico; este análisis se hizo para cada tipo (origen) de orégano y su comparación entre ellos. En este análisis se corrigió el coeficiente de contraste de polinomio ortogonal, debido a que las dosis no son equidistantes, a través del procedimiento IML de SAS (SAS, 2021).

Para el análisis estadístico se utilizó el modelo correspondiente al diseño experimental utilizado:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + D_j + P_k + (\tau \times D)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = variable respuesta, μ = media general de todos los datos experimentales, τ_i = efecto asociado con el tipo de AEO D_j = efecto asociado con la dosis (nivel), P_k = experimento repetido en el tiempo $(\tau \times D)_{ij}$ = es el efecto de la interacción de primer orden entre el tipo de AEO y la dosis (nivel) y ε_{ijk} = error aleatorio asociado con cada medición de la variable de respuesta, se asumió $e_i \sim NIID(0, \sigma_e^2)$.

i = AEOM, AEOE j = 0, 70, 140, 280, 560, 1120 k = 1, 2

Resultados

Fracciones de fermentación y degradabilidad In vitro

Todas las fracciones tuvieron efectos importantes, la FFR, FFM y la FFT fueron afectadas por los factores de tipo de origen ($P < 0.01$), la dosis ($P \leq 0.01$) y la interacción de origen por dosis (Cuadro 3).

La FFR mostró una tendencia cubica en los dos orígenes de AEO, aunque en el AEOE fue altamente significativa ($P < 0.01$) mientras que en el mexicano fue significativa ($P < 0.05$). El AEOE, mostró su valor más alto en la dosis de 560 ppm aunque fue numéricamente mayor, la diferencia con el control no fue significativa de acuerdo con la prueba de comparación por contrastes ortogonales ($P > 0.05$); mientras que la diferencia entre AEOM y AEOE si lo fue ($P < 0.01$), siendo mayor AEOE.

Para el caso de la FFM se observó una tendencia lineal significativa ($P < 0.01$) con AEOM obteniéndose el mayor resultado con la dosis de 1,120 ppm mientras que con AEOE fueron significativas ($P < 0.05$) las tendencias lineal y cúbica, así como la tendencia cuadrática ($P < 0.01$) siendo mayor la dosis de 560 ppm, en los contrastes los orígenes de AEO son diferentes entre si ($P < 0.01$), el AEOM es diferente al control ($P < 0.01$) y el AEOE no tuvo diferencia con el control ($P > 0.05$). La FFL solo se presentó un efecto cuadrático significativo ($P < 0.05$) cuando se añadió AEOE. La FFT tuvo una tendencia lineal para AEOM ($P < 0.05$) y cuadrática para AEOE ($P < 0.05$) al igual que en los casos anteriores la dosis que presento los resultados mayores fue la de 1120 en AEOM y la de 560 en AEOE. El AEOM fue diferente al control ($P < 0.05$), mientras que AEOE y el control son iguales ($P > 0.05$).

Cuadro 6. Fracciones de fermentación *in vitro* con la adición de AEO de diferente origen y a diferentes dosis¹.

Origen	Dosis (ppm)	FRF (g kg ⁻¹)	FMF (g kg ⁻¹)	FLF (g kg ⁻¹)	FFT (g kg ⁻¹)
Sin AEO	0	282.98	231.68	263.00	777.66
	DEM	±47.38	±20.37	±32.43	±57.50
AEOM	70	278.39	187.77	244.60	710.77
	140	233.66	174.70	248.18	656.55
	280	239.49	192.04	273.71	705.24
	560	247.26	195.77	268.32	711.35
	1120	253.98	230.13	281.31	765.42
	DEM	±32.90	±27.24	±44.01	±63.63
	Efecto	C*	L**	NS	L**
AEOE	70	268.40	199.57	241.15	709.12
	140	298.48	215.91	251.45	765.84
	280	240.61	206.76	286.76	734.14
	560	295.76	252.43	294.74	842.93
	1120	262.28	221.91	249.03	733.21
	DEM	±35.05	±29.09	±46.61	±76.75
	Efecto	C**	L* Q**C*	Q**	Q**
Nivel de significancia	Origen	0.000	<0.0001	0.892	0.002
	Dosis	0.001	<0.0001	0.119	0.010
	Origen*Dosis	0.000	0.0001	0.465	0.002
	AEOM vs Sin AEO	0.011	<0.0001	<0.0001	0.007
Contraste	AEOM vs Sin AEO	0.162	0.119	0.927	0.423

¹AEO= Aceite esencial de orégano, AEOM= Aceite esencial de orégano mexicano, AEOE= Aceite esencial de orégano europeo. FRF= Fracción de rápida fermentación FMF=Fracción de mediana fermentación, FLF= Fracción de lenta fermentación, FFT= Fracción fermentable total. Efectos significativos de los polinomios ortogonales (** P 0.01; *P 0.05) lineales (L), cuadráticos (Q) y cúbicos (C). NS, no significativo.

La DIVMS24 muestra efectos de la interacción de los factores, ya que el AEOM tiene un efecto inhibitor más marcado en la menor dosis, aunque alcanza mayor degradabilidad con forme esta se incrementa (Cuadro 4), por lo que presenta una tendencia lineal marcada (P < 0.01) mientras que el AEOE no presentó efectos. El tiempo parece influenciar ya que para el caso de DIVMS72 el AEOE obtuvo su

menor degradabilidad en las dosis más altas con una tendencia polinomial lineal altamente significativa ($P < 0.01$). Este comportamiento fue similar para DIVMO72 y para AEOM que también mostro una tendencia lineal ($P < 0.01$) al disminuir la degradabilidad conforme se aumentaba la dosis.

Cuadro 7. Degradabilidad *in vitro* de la materia seca y orgánica con la adición de AEO de diferente origen y a diferentes dosis¹.

Origen	Dosis (ppm)	DIVMS24 (%)	DIVMS72 (%)	DIVMO72 (%)
Sin AEO	0	70.75	83.38	94.48
	DEM	2.41	0.62	0.03
AEOM	70	64.78	85.57	95.67
	140	72.60	85.35	95.48
	280	75.13	85.73	95.46
	560	72.30	82.34	92.52
	1120	73.32	82.80	92.91
	DEM	3.94	2.33	2.33
	Efecto	L**C**Q**	NS	L**
AEOE	70	73.94	83.56	93.60
	140	75.30	84.19	94.24
	280	74.61	85.37	95.17
	560	69.73	84.89	95.24
	1120	72.50	79.10	89.97
	DEM	2.72	2.91	2.66
	Efecto	NS	L**Q*	L*Q*
<i>Nivel de significancia</i>	Origen	0.036	0.211	0.312
	Dosis	0.001	0.011	0.043
	Origen*Dosis	0.000	0.127	0.178
Contraste	AEOE vs AEOM	0.036	0.211	0.312
	AEOM vs Sin AEO	0.458	0.437	0.955
	AEOE vs Sin AEO	0.098	0.975	0.498

¹AEO= aceite esencial de orégano, AEOM= aceite esencial de orégano mexicano, AEOE= aceite esencial de orégano europeo. DIVMS24= degradabilidad *in vitro* de la materia seca a las 24 h, DIVMS72= degradabilidad *in vitro* de la materia seca a las 72 h, DIVMO72= degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica a las 72 h. Efectos significativos de los polinomios ortogonales (** $P < 0.01$; * $P < 0.05$) lineales (L), cuadráticos (Q) y cúbicos (C). NS, no significativo.

Cinética de fermentación y producción de AGV's

No se encontraron efectos significativos ($P > 0.052$) del AEOM ni del AEOE en sus diferentes dosis en L y S, pero hubo algunos efectos importantes en Vm (Cuadro5). Tanto el origen como la dosis y su interacción fueron significativos ($P < 0.01$).

Cuadro 8. Variables de cinética de producción de gas *in vitro* con la adición de AEO de diferente origen y a diferentes dosis¹.

Origen	Dosis (ppm)	L (h)	S (h^{-1})	Vm (mL g^{-1})
Sin AEO	0	2.082	0.0359	334.90
	DEM	± 0.858	± 0.0013	± 18.10
AEOM	70	2.410	0.0350	298.98
	140	2.910	0.0332	275.45
	280	2.295	0.0334	296.67
	560	2.183	0.0335	299.05
	1120	2.582	0.0351	327.87
	DEM	± 1.077	± 0.0035	± 26.54
	Efecto	NS	NS	L**
AEOE	70	2.941	0.0360	301.37
	140	1.841	0.0367	326.60
	280	2.248	0.0329	310.48
	560	2.459	0.0356	362.32
	1120	2.406	0.0366	316.70
	DEM	± 1.136	± 0.0038	± 31.41
	Efecto	NS	NS	Q**
Nivel de significancia	Origen	0.740	0.052	0.000
	Dosis	0.912	0.250	0.001
	Origen*Dosis	0.487	0.563	0.000
Contraste	AEOE vs AEOM	0.740	0.052	0.000
	AEOM vs Sin AEO	0.432	0.146	0.001
	AEOE vs Sin AEO	0.562	0.796	0.283

¹AEO= Aceite esencial de orégano, AEOM= Aceite esencial de orégano mexicano, AEOE= Aceite esencial de orégano europeo. Vm= Volumen máximo, S= Taza de fermentación, L= Fase Lag. Efectos significativos de los polinomios ortogonales (** $P < 0.01$; * $P < 0.05$) lineales (L), cuadráticos (Q) y cúbicos (C). NS, no significativo.

El AEOM mostró una tendencia lineal ($P < 0.01$) en incrementar el volumen de gas conforme se aumenta la dosis, el registro más bajo se presentó con la dosis de 140 ppm y el más alto con la dosis de 1120, aunque este resultado sigue siendo inferior al control, por lo cual el Vm de AEOM es significativo cuando se contrasta con el control ($P < 0.01$), al igual que cuando se compara con el AEOE ($P < 0.01$) ya que los resultados de AEOM siguen siendo bajos a pesar de que aumenta el volumen conforme aumenta la dosis. El AEOE a diferencia del AEOM, mostró una tendencia cuadrática ($P < 0.01$) con respecto a la dosis, pero el AEOE no fue diferente al control, pero numéricamente la dosis de 560 ppm fue la mayor.

La producción de AGV's no fue afectada por el origen de AEO ($P > 0.05$), pero si por la dosis ($P < 0.05$) mientras que su interacción (origen×dosis) afectó la concentración de ácido acético ($P > 0.05$), aunque los dos orígenes muestran una tendencia lineal altamente significativa ($P < 0.01$), el AEOM suprime la producción de este ácido graso de cadena corta conforme se incrementa la dosis, mientras que AEOE aumenta su concentración paralelamente con el incremento en dosis (Cuadro 6). La interacción de los factores también afectó la producción de ácido butírico, el AEOM mostró un comportamiento cuadrático ($P < 0.01$) alcanzando niveles mayores en las dosis intermedias, mientras que el AEOE suprimió la producción conforme se aumentaba la dosis, por lo que su polinomio ortogonal lineal es altamente significativo ($P < 0.01$).

Cuadro 9. Concentración molar de ácidos grasos volátiles *In vitro* con la adición de AEO de diferente origen y a diferentes dosis¹.

Origen	Dosis (ppm)	Acético (mol 100 mol ⁻¹)	Propiónico (mol 100 mol ⁻¹)	Butírico (mol 100 mol ⁻¹)	A/P
Sin AEO	0	58.95	28.95	12.10	2.05
	DEM	2.96	2.37	0.63	0.27
AEOM	70	53.43	33.70	12.87	1.59
	140	52.75	33.64	13.61	1.57
	280	51.92	33.87	14.21	1.54
	560	51.12	34.52	14.37	1.48
	1120	50.48	35.67	13.85	1.42
	DEM	1.38	1.17	0.66	0.09
	Efecto	L**	L*	Q**	L**
AEOE	70	51.80	34.12	14.07	1.52
	140	50.91	34.52	14.57	1.48
	280	50.90	35.09	14.01	1.45
	560	54.05	33.17	12.78	1.63
	1120	54.31	33.79	11.91	1.62
	DEM	2.02	1.51	1.24	0.12
	Efecto	L**	NS	L**	NS
Nivel de significancia	Origen	0.419	0.792	0.220	0.629
	Dosis	<.0001	0.000	0.002	<.0001
	Origen*Dosis	0.006	0.288	0.001	0.121
Contraste	AEOE vs AEOM	0.419	0.792	0.220	0.629
	AEOM vs Sin AEO	<.0001	<.0001	0.000	<.0001
	AEOE vs Sin AEO	0.000	0.001	0.022	0.000

¹AEO= Aceite esencial de orégano, AEOM= Aceite esencial de orégano mexicano, AEOE= Aceite esencial de orégano europeo. A/P= Relación acético propiónico. Efectos significativos de los polinomios ortogonales (** P < 0.01; *P < 0.05) lineales (L), cuadráticos (Q) y cúbicos (C). NS, no significativo.

El AEOM aumentó la producción de ácido propiónico conforme se incrementó la dosis de una manera lineal (P < 0.05), mientras que AEOE no tuvo ninguna influencia en este ácido graso volátil. El efecto en los ácidos acético y propiónico por parte del AEOM se reflejó en su relación, que se comportó de una manera lineal altamente significativa (P < 0.01) a reducirse, mientras que para AEOE no hubo efecto en esta relación.

No hubo diferencia entre el AEOM y el AEOE, pero marcan diferencia en el testigo según los contrastes ($P < 0.05$), el acético es menor, el propiónico aumenta al igual que el butírico mientras que la relación A/P disminuye cuando se adiciona AEO de origen mexicano o europeo.

Indicadores de impacto ambiental

No se encontraron diferencias estadísticas significativas en las variables de impacto ambiental ($P > 0.05$), no hubo tendencias de los polinomios, ni los contrastes tuvieron algún efecto, así como la significancia de los factores (Cuadro 7). Los mayores valores se presentaron con la dosis de mayor inclusión de 1,120 para los 2 tipos de AEO, mientras que el menor registro se obtuvo con 140 ppm.

Cuadro 10. Variables de impacto ambiental *In vitro* con la adición de AEO de diferente origen y a diferentes dosis¹.

Origen	Dosis (ppm)	CH ₄ (%)	IPCG (mL CO ₂ eq g ⁻¹)	IIA
Sin AEO	0	10.502	583.97	3.279
	DEM	3.263	124.11	0.708
AEOM	70	11.206	574.84	3.432
	140	8.915	568.91	2.935
	280	11.303	655.78	3.453
	560	9.726	592.06	3.111
	1120	13.723	732.82	3.978
	DEM	3.590	164.72	0.779
	Efecto	NS	NS	NS
AEOE	70	10.141	629.72	3.201
	140	8.825	564.64	2.915
	280	9.257	554.02	3.009
	560	10.669	691.65	3.315
	1120	11.553	788.17	3.507
	DEM	3.612	237.17	0.784
	Efecto	NS	NS	NS
<i>Nivel de significancia</i>	Origen	0.3402	0.6581	0.3402
	Dosis	0.2405	0.1418	0.2405
	Origen*Dosis	0.3937	0.6952	0.7982
Contraste	AEOE vs AEOM	0.3402	0.6581	0.3402
	AEOM vs Sin AEO	0.7608	0.5522	0.7608
	AEOE vs Sin AEO	0.7924	0.4876	0.7924

¹AEO= Aceite esencial de orégano, AEOM= Aceite esencial de orégano mexicano, AEOE= Aceite esencial de orégano europeo. CH₄= Metano, IPCG= Índice potencial de calentamiento global, IIA= Indicador de impacto ambiental. Efectos significativos de los polinomios ortogonales (** P < 0.01; *P < 0.05) lineales (L), cuadráticos (Q) y cúbicos (C). NS, no significativo.

Discusión

Fracciones de fermentación y degradabilidad In vitro

La fermentación entre intervalos de tiempo es un indicador directo de las diferencias en el contenido de polisacáridos, proteínas y fibras (Guo et al., 2008), que se pueden expresar como fracciones fermentables (Miranda et al., 2015). En el presente estudio, en ambos orígenes FFR tuvo un comportamiento cúbico significativo (Cuadro 3), lo que sugiere que la dosis interactúa con la fermentación de los carbohidratos solubles, así como azúcares simples, monosacáridos y algunos aminoácidos (Hartmann, 2007). Este inicio rápido a moderado del proceso de fermentación (Cuadro 3) puede deberse a una fermentación adicional de su fracción soluble que contiene azúcares simples (Miranda et al., 2015).

El comportamiento lineal de AEOM en FFM muestra que la dosis más alta puede estar facilitando la digestión del almidón y por consiguiente un aumento la FFT, mientras el AEOE mantuvo un comportamiento cuadrático altamente significativo estadísticamente ($P < 0.002$). Esto podría aseverar que la dosis de 1,120 en AEOM promueve mayor sincronía entre la digestión de azúcares simples, almidón, pectinas y para el caso AEOE también la celulosa y hemicelulosa lo que aumenta la cantidad fermentada a los diferentes niveles (Albores-Moreno et al., 2018).

El AEOM puede causar un cambio en la población microbiana del rumen que resulta en un perfil de fermentación que beneficiará la producción de rumiantes con dietas altas en concentrado. Cardozo et al. (2005) encontraron resultados similares, aunque estos autores reportan que a una dosis alta la fermentación se limita. Una hipótesis pudiera ser que los componentes del AEOM tiene mayor capacidad antimicrobiana con las bacterias del rumen principalmente el carvacrol que es el que se encuentra en mayor cantidad, y es conocido por su fuerte actividad antimicrobiana (Macheboeuf et al., 2008). Con dosis bajas las poblaciones de Gram negativas y Gram positivas pueden ser disminuidas por igual, pero al momento de encontrarse mayor presencia de AEOM podría actuar mayormente contra las bacterias gram positivas y considerando que se alteró la fermentación del almidón (Cuadro 3; FFM) es para que exista presencia de gram positivas, por lo que el aumento en la dosis mejoró la fermentación linealmente.

En cuanto al AEOE los resultados del presente estudio coinciden con los reportados por Castillejos et al. (2008). Estos autores, también con una dieta alta en concentrado, encontraron para el aceite esencial de *Origanum vulgare*, un comportamiento cuadrático de las principales variables de fermentación, recalcando que con las dosis menores se obtuvieron los mejores resultados, aquí no fue en las primeras dosis, pero si en una intermedia, siendo la de 560 ppm de AEOE la que mejores parámetros registró.

La parcial mejora en la fermentación de las fracciones de fermentación observada din la adición de AEO coincide con lo que afirmaron Albores-Moreno et al. (2018) y Jiménez-Santiago et al. (2019), quienes encontraron los mejores valores de fermentación *in vitro* con arbóreas con un bajo contenido de taninos condensados y alcaloides, y la ausencia de saponinas, que son similares en efecto a los terpenos del AEO.

La disminución de la degradabilidad con respecto a incrementar linealmente la dosis de AEO concuerda con lo encontrado en múltiples estudios (Cobellis et al., 2015; Patra & Yu et al., 2012; Righi et al., 2017), este último con un concentrado como sustrato (maíz molido) donde el AEOE tuvo un efecto marcado para reducir la degradabilidad de la MS. Otro estudio (Zhou et al., 2020) reportó una tendencia cuadrática; mientras que en otro no reportaron ningún efecto (Castañeda et al., 2019) todos estos con 24 h de incubación.

Para la presente investigación la inconsistencia en DIVMS24 que se presentó, indica posiblemente una mayor unión microbiana de las bacterias a las partículas del alimento con una reducción de las bacterias fermentadoras de carbohidratos no estructurales que no permitió una degradación consistente a este tiempo de 24 h, efecto que también encontraron Righi et al. (2017) iniciando a las 4 h de fermentación.

La inhibición de la digestión del alimento se debe a las actividades antimicrobianas no selectivas del aceite esencial de orégano que afectan una amplia gama de subpoblaciones microbianas. Los compuestos de peso molecular pequeño, como el carvacrol (componente principal de los aceites esenciales de orégano), tienen la capacidad de destruir las membranas adicionales de las bacterias gram-negativas mediante la eliminación de la unión de lipopolisacáridos y el aumento de la permeabilidad de las membranas citoplasmáticas (Calsamiglia et al., 2007). Esto puede explicar porque el AEOM muestra una actividad antibacteriana más fuerte que AEOE.

Cinética de fermentación y producción de AGV's

Los parámetros de L y S no fueron diferentes por la adición de ninguno de los orígenes en sus diferentes dosis, estos parámetros de fermentación ruminal generalmente no se ven afectados si la energía y proteína de la dieta son apropiadas para un funcionamiento normal del rumen (Blaxter y Wainman, 1962), esto puede evidenciar que la dieta utilizada como alimento para los ovinos donadores de inóculo y como sustrato tenía un buen balance entre estos dos nutrientes. La L del AEOE es mucho mayor que la reportada por Benchaar et al. (2007), pero la asíntota de producción de gas (V_m) fue mayor para el presente estudio.

La marcada reducción en la producción total de gas *in vitro* después de la adición de AEOM podría atribuirse a la mayor concentración de carvacrol (>67%), lo que puede afectar la población microbiana ruminal y sus productos al fermentar la materia orgánica (Bhatta et al., 2013; Patra et al., 2017). El comportamiento de los resultados en la producción de gas contradice a los reportados con otras especies de Orégano como *Thymus capitatus* L. (Cobellins et al., 2015) o cuando se combinó timol con carvacrol (Castañeda et al., 2019) donde la producción de gas decreció conforme aumentó la dosis.

Los resultados obtenidos en el presente estudio con la adición de AEOE sobre producción de gas son diferentes a los reportados por Zhou et al. (2020). Estos autores observaron un comportamiento cuadrático en una fermentación a 24 h igual con *Origanum vulgare*, obteniendo el volumen más alto en la última dosis y en el control, cuando en este experimento se encontró en la dosis media de 560 ppm. Los resultados de Zhou et al. (2020) son similares a lo que encontrado en este trabajo con el AEOM ya que de igual manera la producción de gas se encontró en la dosis más alta, así como en el control. Los resultados de AEOE difieren también de los obtenidos *in vitro* por Patra y Yu (2012) y Cobellis et al. (2016). En ambos estudios se reportó un marcado decremento de la producción de gas conforme se aumentaba la dosis de AEO.

Los ácidos grasos volátiles son los productos finales de la fermentación microbiana del rumen y representan el principal suministro de energía metabolizable para los rumiantes (Van Soest, 1994). La concentración total de AGV's es el resultado de la fermentación de la dieta, y la relación acetato:propionato más bajo refleja un cambio en la fermentación ruminal que es más eficiente para los sistemas de producción de rumiantes (Wolin et al., 1997; Brockman, 2005).

Los aditivos naturales para alimentos, como el AEO, pueden ser útiles en la nutrición de rumiantes cuando determina un aumento de la producción total de AGV y ácido propiónico y una disminución de la proporción de ácido acético/propiónico (Calsamiglia et al., 2007). Aunque como se describe en la literatura, la suplementación con aceites esenciales puede causar efectos contradictorios en la concentración total de AGV's (Benchaar et al., 2008). Esto puede estar relacionado con la dosis ya que varios estudios demostraron que las concentraciones totales de AGV's no se vieron afectadas por el AEO en dosis bajas, o solo lo hicieron levemente, pero disminuyeron en dosis altas (Patra, 2011; Cobellis et al., 2015).

La adición de AEO resultó en reducciones en la producción total de gas total (Cuadro 5), lo que sugiere que la fermentación y la actividad microbiana se vieron afectadas negativamente con las dosis utilizadas. Estos efectos son consistentes con los hallazgos de otros autores (Castillejos et al., 2006; Patra y Yu, 2012; Cobellis et al., 2015). En general, algunos estudios demuestran que dosis altas de AEOE disminuyen la fermentación y la actividad microbiana (Busquet et al. 2006; Cobellis et al. 2015; Davidson y Naidu, 2000), pero en otro estudio con AEOM la concentración de ácido acético propiónico y butírico no tuvo ningún cambio debido al tratamiento (Muñoz-Cuautle et al., 2022).

Busquet et al. (2006) observaron que, a las concentraciones más altas, el AEOE redujo la producción total de AGV's, como posible reflejo de la disminución de la digestión del alimento, resultados similares fueron reportados por Castillejos et al. (2006), suceso que en este estudio se puede confirmar con la degradabilidad que se encontró (Cuadro 4) aunque en algunas dosis la degradabilidad aumentó. La razón

por la que la degradabilidad podría aumentar con una disminución de los AGV puede estar relacionada con la producción de enzimas microbianas extracelulares que mejoran la digestibilidad de la fibra y la MS (Priest, 1977), pero los productos de hidrólisis no se fermentaron a AGV.

En el rumen, las bacterias gram positivas son generalmente bacterias productoras de acetato y butirato, mientras que las gram negativas son generalmente bacterias productoras de propionato (Jouany, 1991). Es posible que el efecto del AEO en los microorganismos del rumen fuera selectivo, inhibiendo algunas cepas más que otras (Tekippe et al., 2011; Patra y Yu, 2012). Por ejemplo, en el presente estudio, el AEOM puede haber afectado más a las cepas microbianas involucradas en la digestión de la fibra, como sugiere la menor proporción de acetato a propionato observada conforme se incrementa la dosis (Cuadro 6) que es el efecto típico de los aditivos alimenticios como los ionóforos (McGuffey et al., 2001), lo que coincide con los resultados de algunos investigadores que demostraron que algunos aceites esenciales tienen efectos positivos en las proporciones molares de AGV al disminuir la producción de acetato y aumentar la producción de propionato (Mohammed et al., 2004; Busquet et al., 2005). La resistencia o susceptibilidad de las bacterias del rumen puede depender más de la composición lipídica y la carga superficial neta de las membranas microbianas (Trombetta et al., 2005).

Los efectos observados sugieren que el carvacrol tiene especificidad antimicrobiana y puede inhibir bacterias grampositivas (la mayoría de las bacterias productoras de acetato y butirato) o gramnegativas (normalmente bacterias productoras de propionato) de forma dependiente de la dosis, lo que sugiere que su uso puede ser confuso en un ambiente microbiano complejo como el rumen (Busquet et al., 2006). El aumento en la concentración molar de propionato y butirato que se muestra en nuestro estudio con el AEOM coinciden con lo reportado con Benchaar et al. (2007) y Busquet et al. (2006) quienes obtuvieron incrementos similares utilizando carvacrol que se encuentra en mayor proporción en el AEO.

La disminución de acetato:propionato junto con el aumento en la proporción de butirato observado es consistente con lo obtenido por Cardozo et al. (2005) que se fundamenta en el perfil de fermentación comúnmente encontrado en los ionóforos como lo demuestra (Catillejos et al., 2006) donde el timol actuó de manera similar a monensina reduciendo la proporción de acetato a propionato, y aumentó la proporción de propionato y butirato pero reduciendo la concentración total de AGV similar a lo obtenido en el presente estudio.

Las modificaciones moderadas del perfil de AGV's del rumen observadas en sistemas *in vitro* son probablemente más difíciles de reproducir *in vivo*, donde las condiciones son más complejas (por ejemplo, diferentes tasas de absorción de ácidos a través de la pared del rumen, tasas de rotación del rumen, diferentes proporciones entre población y sustrato), por lo que hace falta seguir investigando el mecanismo de acción de estos aditivos fitogénicos sobre la producción de AGV's.

Indicadores de impacto ambiental

La falta de respuesta en la producción de metano con la adición de AEO no concuerda con lo reportado por Patra y Yu, (2012). Estos autores observaron que la producción de metano se redujo 13% con respecto al control, pero coincide con lo observado por Castañeda et al. (2018), quienes tampoco encontraron efectos en la producción de metano cuando probaron una mezcla de timol y carvacrol en la fermentación ruminal *in vitro*, mencionando que posiblemente se deba a las diferencias en las dietas de los donantes de líquido ruminal, además de los diferentes sustratos utilizados durante las incubaciones *in vitro* y el tiempo de recolección de líquido ruminal en relación con el consumo del animal, lo cual también pudo haber influenciado en el presente estudio, ya que la recolección del líquido ruminal fue 2 horas después del primer consumo de la mañana, aunado a que la dieta que se utilizó como sustrato era un concentrado con un nivel alto de azúcares y almidón (Cuadro 4; FRF y FMF) lo que disminuyó la ruta del ácido acético y la predisposición de H^+ en el ambiente (Eugène et al., 2004). Se necesitan más estudios para dilucidar el mecanismo exacto por el cual AEO reduce la producción de metano.

Como se mencionó previamente, en el presente estudio el sustrato y la dieta de los animales donadores de inóculo fue un concentrado con alto contenido de carbohidratos y el tipo de estos parece ser un factor determinante en la producción de CH_4 (Fernández-Mayer, 2001). Aunque no hubo diferencia significativa ($P>0.05$) en la producción de metano, fue menor que 16% del gas producido en todos los tratamientos, lo que corresponde a dietas altas en concentrado. A su vez, el valor fue menor que en dietas altas en forraje ($>20\%$) según lo que dicta Dumortier et al. (2017).

El IPCG tampoco se vio influenciado ni por el tipo de AEO, ni por la dosis, este nuevo indicador está determinado por la energía que contenga la dieta, que en este caso era alta, esto causó no ver diferencias claras, además de que el alimento está balanceado en todos sus nutrientes por lo que fermenta de manera sincronizada (Martínez-Hernández et al., 2019). El metano mantiene una estrecha relación con el IPCG debido a que es 23 más contaminante (Yan et al., 2010) que el dióxido de carbono, por tanto, no se encontró diferencia en ninguno de estos parámetros. Como este es un experimento *in vitro* los parámetros de impacto ambiental solo se estimaron en base a la cantidad de sustrato fermentado, pero en condiciones de producción habría que estimar en base a unidad de producto (litros de leche, gramos de ganancia de peso etc.) o de tiempo (día, periodo, lactancia) y entonces podría ser más probable encontrar diferencias de la adición de AEO.

Conclusiones

El AEOM afecta la fracción de mediana fermentación y la de fermentación total ya que los valores aumentan conforme aumenta la dosis, el AEOE en su caso alcanza niveles altos de fermentación en una dosis intermedia (560 ppm), la degradabilidad *in vitro* cambió de acuerdo con el nivel de inclusión,

siendo las dosis altas las que más disminuyen la degradabilidad. El AEOM también reduce la producción de gas con respecto al control y al AEOE, pero vuelve más eficiente la producción de AGV's aumentando la producción de propiónico y reduciendo su relación con respecto al acético, para este experimento no hubo diferencias en la producción de metano, ni en los indicadores ambientales, por lo que hace falta investigar más sobre como el AEO puede afectar las emisiones entéricas de CH₄ en los rumiantes. El AEOM puede modular de mejor manera de la fermentación ruminal que el AEOE, pero disminuye más la digestión y la producción de gas total.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) de México y a la Universidad Autónoma Chapingo, particularmente al laboratorio de Microbiología Pecuaria por el apoyo en montar la fermentación *in vitro*. También agradecemos a la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León por el brindar el equipo para la determinación ácidos grasos volátiles, así como a AQUA LAB por el alimento y los análisis bioquímicos.

Fondos. Esta investigación no recibió ninguna subvención específica; los autores lo financiaron.

Conflicto de intereses. Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Cumplimiento de estándares éticos. Todos los procedimientos experimentales fueron aprobados por la Junta de Revisión Institucional del Posgrado en Producción Animal, de acuerdo con las especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio establecidas en la Norma Oficial Mexicana (NOM-062-ZOO-1995).

Disponibilidad de datos. Los datos están disponibles con el autor correspondiente previa solicitud razonable.

Declaración de contribuciones de los autores (CRediT). **A. G. Carrillo-Hurtado** - Conceptualización, Investigación, Curación de datos, Escritura–borrador original, **L. A. Miranda-Romero** - Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Escritura–revisión y edición, **M. Huerta-Bravo** - Administración de proyecto, Supervisión, **J. R. Kawas-Garza** - Visualización, Validación, Supervisión, **G. Mendez-Zamora** - Curación de datos, Análisis formal, Escritura – revisión y edición, **Y. Ramos-Zayas** - Validación, Visualización, Escritura – revisión y edición-, **D. S. Rico-Costilla** - Metodología Validación, Visualización, **N. Galindo-Dorantes**-Edición-revisión y envío.

Literatura citada

Albores-Moreno, S., Alayon-Gamboa, J. A., Miranda-Romero, L. A., Jiménez-Ferrer, G., Ku-Vera, J. C., and Vargas-Villamil, L., 2018. Nutritional composition, in vitro degradation and potential fermentation of tree species grazed by ruminants in secondary vegetation (*Acahual*) of deciduous forest: *Journal of Animal & Plant Sciences*, 28(5), pp.1263-1275. <http://www.thejaps.org.pk/docs/v-28-05/06.pdf>.

Baser, K. H. C., 2002. The turkish origanum species. *Oregano*. The Genera *Origanum* and *Lippia*, 109.

Benchaa, C., Calsamiglia, S., Chaves, A. V., Fraser, G. R., Colombatto, D., McAllister, T. A., and Beauchemin, K. A., 2008. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1-4), pp 209-228. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.014>

Benchaa, C., Chaves, A. V., Fraser, G. R., Beauchemin, K. A., and McAllister, T. A., 2007. Effects of essential oils and their components on in vitro rumen microbial fermentation. *Canadian Journal of Animal Science*, 87(3), pp 413-419. <http://dx.doi.org/10.4141/CJAS07012>

Berra, G., Finster, L., and Valtorta, S. E., 2009. Una técnica sencilla para la medición de emisiones de metano entérico en vacas. *Ciencias Veterinarias*, 8, pp 49-56. <http://dx.doi.org/10.14409/favecv.v8i1.1479>

Bhatta, R., Saravanan, M., Baruah, L., Sampath, K. T., and Prasad, C. S., 2013. In vitro fermentation profile and methane reduction in ruminal cultures containing secondary plant compounds. *Journal of Applied Microbiology*, 115(2), pp 455-465. <https://doi.org/10.1111/jam.12238>

Blaxter, K. L., and Wainman, F. W., 1966. The fasting metabolism of cattle. *British Journal of Nutrition*, 20(1), pp 103-111. <http://dx.doi.org/10.1079/BJN19660012>

Blümmel, M. and Lebzien, P., 2001. Predicting ruminal microbial efficiencies of dairy rations by in vitro techniques. *Livestock Production Science*, 68(2), pp 107-117. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00241-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00241-4)

Brockman, R. P., 2005. Glucose and short-chain fatty acid metabolism. In: *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. Wallingford UK: CABI Publishing. pp. 291-310. <http://dx.doi.org/10.1079/9780851998145.0291>

Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., and Kamel, C., 2006. Plant extracts affect vitro rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 89(2), pp 761-771. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72137-3](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72137-3)

Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Cardozo, P. W., and 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), pp 2508-2516. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72928-3](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72928-3)

Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P. W., Castillejos, L., and Ferret, A., 2007. Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*. 90: pp 2580-2595. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2006-644>

Calvo-Irabien, L. M., 2018. Native Mexican aromatic flora and essential oils: Current research status, gaps in knowledge and agro-industrial potential. *Industrial Crops and Products*, 111, pp 807-822. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.044>

Cardozo, P. W., Calsamiglia, S., Ferret, A., and Kamel, C., 2005. Screening for the effects of natural plant extracts at different pH on in vitro rumen microbial fermentation of a high-concentrate diet for beef cattle. *Journal of Animal Science*, 83(11), pp 2572-2579. <http://dx.doi.org/10.2527/2005.83112572x>

Castañeda-Correa, A., Corral-Luna, A., Hume, M. E., Anderson, R. C., Ruiz-Barrera, O., Castillo-Castillo, Y., Rodriguez-Almeida, F., Salinas-Chavira, J., and Arzola-Alvarez, C., 2019. Effects of thymol and carvacrol, alone or in combination, on fermentation and microbial diversity during in vitro culture of bovine rumen microbes. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 54(3), pp 170-175. <http://dx.doi.org/10.1080/03601234.2018.1536580>

Castillejos, L., Calsamiglia, S., and Ferret, A., 2006. Effect of essential oil active compounds on rumen microbial fermentation and nutrient flow in vitro systems. *Journal of Dairy Science*, 89(7), pp 2649-2658. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72341-4](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72341-4)

Castillejos, L., Calsamiglia, S., Martín-Tereso, J., & Ter Wijlen, H. (2008). In vitro evaluation of effects of ten essential oils at three doses on ruminal fermentation of high concentrate feedlot-type diets. *Animal feed science and technology*, 145(1-4), 259-270. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.037>

Cobellis, G., Petrozzi, A., Forte, C., Acuti, G., Orrù, M., Marcotullio, M. C., Aquino, A., Nicolini, A., Mazza V., and Trabalza-Marinucci, M., 2015. Evaluation of the effects of mitigation on methane and ammonia production by using *Origanum vulgare* L. and *Rosmarinus officinalis* L. essential oils on in

vitro rumen fermentation systems. *Sustainability*, 7(9), pp 12856-12869.
<http://dx.doi.org/10.3390/su70912856>

Cobellis, G., Trbalza-Marinucci, M., Marcotullio, M. C., and Yu, Z., 2016. Evaluation of different essential oils in modulating methane and ammonia production, rumen fermentation, and rumen bacteria in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 215, pp 25-36.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.02.008>

Danielsson, R., Ramin, M., Bertilsson, J., Lund, P., and Huhtanen, P., 2017. Evaluation of a gas in vitro system for predicting methane production in vivo. *Journal of Dairy science*, 100(11), pp 8881-8894.
<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-12675>

Davidson, P. M., and Naidu, A. S., 2000. Phyto-phenols. *Natural Food Antimicrobial Systems*, 226, pp 284-287.

Dumortier, P., Aubinet, M., Beckers, Y., Chopin, H., Debacq, A., de la Motte, L. G., Jérôme., E. Wilmus., F., and Heinesch, B., 2017. Methane balance of an intensively grazed pasture and estimation of the enteric methane emissions from cattle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, pp 527-535.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.09.010>

Elmasry, A. M. A., Mendoza, G. D., Miranda, R. L. A., Vazquez, G., Salem, A. Z. M. and Hernandez, P. A., 2016. Effects of types and doses of yeast on gas production and in vitro digestibility of diets containing maize (*Zea mays*) and lucerne (*Medicago sativa*) or oat hay. *South African Journal of Animal Science* 46(4), pp 391–397. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v46i4.7>

Eugène, M., Archimède, H., and Sauvant, D., 2004. Quantitative meta-analysis on the effects of defaunation of the rumen on growth, intake and digestion in ruminants. *Livestock Production Science*, 85(1), pp 81-97. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00117-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00117-9)

Fernández-Mayer, A., 2001. Efecto de la sincronización de energía-proteína sobre la performance animal. *EEA INTA Bordenave*, pp 7-13.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)., 2010. Greenhouse gas emissions from the dairy sector: a life cycle assessment.

Ghazi, S., Amjadian, T., and Norouzi, S., 2015. Single and combined effects of vitamin C and oregano essential oil in diet, on growth performance, and blood parameters of broiler chicks reared under heat

stress condition. *International Journal of Biometeorology*, 59(8), pp 1019-1024.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00484-014-0915-4>

Guo, Y. Q., Liu, J. X., Lu, Y., Zhu, W. Y., Denman, S. E., and McSweeney, C. S., 2008. Effect of tea saponin on methanogenesis, microbial community structure and expression of *mcrA* gene, in cultures of rumen micro-organisms. *Letters in Applied Microbiology*, 47(5), pp 421-426.
<https://doi.org/10.22358/jafs/74464/2007>

Hartmann, T., 2007. From waste products to ecochemicals: fifty years research of plant secondary metabolism. *Phytochemistry*, 68(22-24), pp 2831-2846.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.09.017>

Jiménez-Santiago, Á., Jiménez-Ferrer, G., Alayón-Gamboa, A., Pérez-Luna, E. D. J., Piñeiro-Vázquez, A. T., Albores-Moreno, S., Pérez-Escobar, M. G., and Castro-Chan, R., 2019. Fermentación ruminal y producción de metano usando la técnica de gas in vitro en forrajes de un sistema silvopastoril de ovinos de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(2), pp 298-314.
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4529>

Jouany, J. P., 1991. Rumen microbial metabolism and ruminant digestion. *Rumen Microbial Metabolism and Ruminant Digestion*, 1-384.

Macheboeuf, D., Morgavi, D.P., Papon, Y., Mousset, J.L. and Arturo-Schaan, M., 2008. Dose–response effects of essential oils on in vitro fermentation activity of the rumenmicrobial population. *Animal Feed Science and Technology*. 145, pp 335–350. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.044>

Martínez-Hernández, B. E., Salvador-Flores, O., and Miranda-Romero, L. A., 2019. Indicador de calentamiento global a partir de la fermentación ruminal de alimentos con diferentes niveles de energía y proteína. *Pastos y Forrajes*, 42(4), pp 285-289.

Mata-González, R., and Meléndez-González, R., 2005. Growth characteristics of Mexican oregano (*Lippia berlandieri* Schauer) under salt stress. *The Southwestern Naturalist*, 50, pp 1-6.
[http://dx.doi.org/10.1894/0038-4909\(2005\)050%3C0001:GCOMOL%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1894/0038-4909(2005)050%3C0001:GCOMOL%3E2.0.CO;2)

McGuffey, R. K., Richardson, L. F., and Wilkinson, J. I. D., 2001. Ionophores for dairy cattle: current status and future outlook. *Journal of Dairy Science*, 84, pp 194-203.
[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70218-4](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70218-4)

Méndez-Zamora, G., Durán-Meléndez, L. A., Aquino-López, J. L., Santellano-Estrada, E., and Silva-Vázquez, R., 2016. Efecto del aceite de orégano (*Poliomnitha longiflora* Gray) sobre la productividad y calidad de carne de conejos. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(8), pp 259-265.

Menke, K. H. and Steingass, H., 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development* 28, pp 7–55.

Miranda, R. L. A., Vazquez M. P., Amendola, M. R., Sandoval, G. L. and González, O. R., 2015. Cuantificación de las fracciones fermentables de alfalfa y tuna por la técnica de producción de gas, In: Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ed). XXIV Congreso de la asociación Latinoamericana de producción animal y XL Congreso de la sociedad chilena de producción animal. Puerto Varas, Chile, p. 575.

Mohammed, N., Ajisaka, N., Lila, Z. A., Hara, K., Mikuni, K., Hara, K., Kanda, S., and Itabashi, H., 2004. Effect of Japanese horseradish oil on methane production and ruminal fermentation *in vitro* and in steers. *Journal of Animal Science*, 82(6), pp 1839-1846. <https://doi.org/10.2527/2004.8261839x>

Monforte-Briceño, G. E., Sandoval-Castro, C. A., Ramírez-Avilés, L., and Leal, C. M. C., 2005. Defaunating capacity of tropical fodder trees: Effects of polyethylene glycol and its relationship to *in vitro* gas production. *Animal Feed Science and Technology*, 123, pp 313-327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.016>

Muñoz-Cuautle, A., Ortega-Cerrilla, M. E., Herrera-Haro, J. G., Ramírez-Bribiesca, J. E., and Zetina-Córdoba, P., 2022. Fermentación ruminal y producción de metano *in vitro* de dietas para ovinos con inclusión de taninos condensados y niveles crecientes de aceite de orégano (*Lippia graveolens*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(81), pp 1-9. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4245>

NASEM (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine)., 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids. *National Academies Press*, Washington, D. C.

NOM NOM-062-ZOO-1999. 1999. Norma Oficial Mexicana, especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio. Accessed March 2021. <http://www.economia-noms.gob.mx/noms/consultasAction.do>.

Patra, A. K., 2011. Effects of essential oils on rumen fermentation, microbial ecology and ruminant production. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 6(5), pp 416-428. <http://dx.doi.org/10.3923/ajava.2011.416.428>

Patra, A. K., and Yu, Z., 2012. Effects of essential oils on methane production and fermentation by, and abundance and diversity of, rumen microbial populations. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(12), pp 4271-4280. <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.00309-12>

Patra, A., Park, T., Kim, M., and Yu, Z., 2017. Rumen methanogens and mitigation of methane emission by anti-methanogenic compounds and substances. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(1), pp 1-18. <http://dx.doi.org/10.1186/s40104-017-0145-9>

Peng, Q. Y., Li, J. D., Li, Z., Duan, Z. Y., and Wu, Y. P., 2016. Effects of dietary supplementation with oregano essential oil on growth performance, carcass traits and jejunal morphology in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 214, pp 148-153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.02.010>

Piñon, M. I., Alarcon-Rojo, A. D., Renteria, A. L., Mendez, G., and Janacua-Vidales, H., 2015. Reduction of microorganisms in marinated poultry breast using oregano essential oil and power ultrasound. *Acta Alimentaria*, 44(4), pp 527-533. <http://dx.doi.org/10.1556/066.2015.44.0024>

Priest, F. G., 1977. Extracellular enzyme synthesis in the genus *Bacillus*. *Bacteriological Reviews*, 41(3), pp 711-753. <http://dx.doi.org/10.1128/br.41.3.711-753.1977>

Reyer, H., Zentek, J., Männer, K., Youssef, I. M., Aumiller, T., Weghuber, J., and Mueller, A. S., 2017. Possible molecular mechanisms by which an essential oil blend from star anise, rosemary, thyme, and oregano and saponins increase the performance and ileal protein digestibility of growing broilers. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(32), pp 6821-6830. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.7b01925>

Righi, F., Simoni, M., Foskolos, A., Beretti, V., Sabbioni, A., and Quarantelli, A., 2017. In vitro ruminal dry matter and neutral detergent fibre digestibility of common feedstuffs as affected by the addition of essential oils and their active compounds. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 26(3), pp 204-212. <http://dx.doi.org/10.22358/jafs/76754/2017>

SAS (2021). Institute Inc., SAS/STAT. Software, ver. 9.4. SAS, Cary, NC, USA.

Schofield, P. and Pell, A. N., 1995. Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes and grasses. *Journal of Animal Science*. 73(11), pp 3455–3463. <http://dx.doi.org/10.2527/1995.73113455x>

- Silva-Vázquez, R., Duran-Meléndez, L. A., Hernández-Martínez, C. A., Gutiérrez-Soto, J. G., Hume, M. E., and Méndez-Zamora, G., 2018. Effects of two sources of Mexican oregano oil on performance, blood profile, carcass variables, and meat of broilers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47, pp e20170198. <http://dx.doi.org/10.1590/rbz4720170198>
- Sivropoulou, A., E. Papanikolaou, C. Nikolaou, S. Kokkini, T. Lanaras, and M. Arsenakis., 1996. Antimicrobial and cytotoxic activities of *Origanum* essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 44, pp1202–1205. <http://dx.doi.org/10.1021/jf950540t>
- Tekippe, J. A., Hristov, A. N., Heyler, K. S., Cassidy, T. W., Zheljazkov, V. D., Ferreira, J. F. S., Karnati, S. K. and Varga, G. A., 2011. Rumen fermentation and production effects of *Origanum vulgare* L. leaves in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94(10), pp 5065-5079. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2010-4095>
- Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B. and France, J., 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 48(3–4), pp 185–197. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](http://dx.doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)
- Trombetta, D., Castelli, F., Sarpietro, M. G., Venuti, V., Cristani, M., Daniele, C., Saija, A., Mazzanti, G., and Bisignano, G., 2005. Mechanisms of antibacterial action of three monoterpenes. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 49(6), pp 2474-2478. <https://doi.org/10.1128/AAC.49.6.2474-2478.2005>
- Valenzuela-Grijalva, N. V., Pinelli-Saavedra, A., Muhlia-Almazan, A., Domínguez-Díaz, D., and González-Ríos, H., 2017. Dietary inclusion effects of phytochemicals as growth promoters in animal production. *Journal of Animal Science and Technology*, 59(1), pp 1-17. <https://doi.org/10.1186/s40781-017-0133-940>
- Van Soest, P. J., 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press. Ithaca, NY.
- Wolin, M. J., Miller, T. L., and Stewart, C. S., 1997. Microbe-microbe interactions. In: *The rumen microbial ecosystem* (pp. 467-491). Springer, Dordrecht.
- Xu, J., Zhou, F., Ji, B. P., Pei, R. S., and Xu, N., 2008. The antibacterial mechanism of carvacrol and thymol against *Escherichia coli*. *Letters in Applied Microbiology*, 47(3), pp 174-179. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2008.02407.x>

Yan, T., Mayne, C. S., Gordon, F. G., Porter, M. G., Agnew, R. E., Patterson, D. C., Ferris, C. P., and Kilpatrick, D. J., 2010. Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93(6), pp 2630-2638. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2929>

Zhong, R. Z.; Fang, Y., Sun, H. X., Wang, M., and Zhou, D. W., 2016. Rumen methane output and fermentation characteristics of gramineous forage and leguminous forage at differing harvest dates determined using an in vitro gas production technique. *Journal of integrative agriculture*, 15(2), pp 414-423. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61046-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61046-5)

Zhou, R., Wu, J., Lang, X., Liu, L., Casper, D. P., Wang, C., Zhang, L., and Wei, S., 2020. Effects of oregano essential oil on in vitro ruminal fermentation, methane production, and ruminal microbial community. *Journal of Dairy Science*, 103(3), pp 2303-2314. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17234>

4. EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE ACEITE DE ORÉGANO (*Lippia barlandieri* Schauer) Y MALATO DE SODIO EN LA DIETA SOBRE PRODUCTIVIDAD, LÍPIDOS SANGUÍNEOS Y CALIDAD DE LA CARNE DE CORDEROS

4.1 Resumen

Con el objetivo de medir los efectos del aceite de orégano mexicano (AOM) y del malato de sodio (MAL) en el comportamiento productivo y características de la canal de corderos de engorda, 16 corderos Dorper con 127 ± 15 días de edad y un peso de 33.86 ± 6.23 kg fueron asignados mediante un diseño completamente al azar a 3 tratamientos: 1) CO, dieta control; 2) AOM, CO + AEO, (100 mg kg^{-1} de MS) y 3) MAL, CO + malato de sodio (3% de la dieta), se registró el consumo individual diario de alimento y se obtuvo el peso de los corderos en los días 0, 28 y 56. Una muestra de sangre se obtuvo al principio (día 0) y al final del experimento (día 56) para obtener perfiles de colesterol y triglicéridos. Un día previo al sacrificio se midió la masticación de los corderos durante 24 horas continuas. Al día 56 se sacrificaron los corderos para evaluar la calidad de la carne. Las variables de productividad tuvieron efecto interactivo con el tratamiento en GDP y E:A. Las variables de masticación muestran que el AOM estimuló las rumia y masticación total. Las concentraciones de triglicéridos en sangre se mantuvieron a través del tiempo para AOM, mientras que en la química proximal de la carne se manifestó un decremento en la composición de la-grasa para AOM. La textura fue mejor para el control mientras que la carne con mayor resistencia al corte fue el MAL. El AOM fue el que obtuvo menor aceptación en la evaluación sensorial. EL AOM en dieta puede incrementar el rendimiento productivo en el inicio de la engorda, así como en carne disminuir el contenido de grasa y su textura en general puede ser mejor, pero puede ser menos aceptada por el consumidor.

Palabras clave: Aceite de orégano mexicano, malato de sodio, corderos.

4.2 Introducción

Los antibióticos como aditivos en la alimentación animal han demostrado ser eficaces para mejorar la utilización de nutrientes, lo que conduce a una mejor conversión alimenticia y tasa de crecimiento (Gartner y O'Rourke, 1997). Sin embargo, existe una creciente preocupación pública sobre el uso de estos aditivos en la producción animal, debido al posible desarrollo de resistencia a los antibióticos contra bacterias patógenas humanas (Casewell et al., 2003). En consecuencia, la comunidad científica y la industria de alimentos para animales han trabajado activamente en la búsqueda de alternativas a los antibióticos alimenticios y ionóforos, para manipular la fermentación ruminal y mejorar la eficiencia alimenticia.

Entre estas alternativas, el orégano es una planta aromática cuyo aceite esencial contiene un efecto antioxidante y antimicrobiano (Bakkali et al., 2008; García et al., 2012). El orégano mexicano (*Lippia berlandieri* Schauer) es una especie caracterizada por un fuerte olor y alto rendimiento de aceite esencial (Ávila et al., 2010), y se caracteriza por su alto contenido de carvacrol, que supera al de *Origanum vulgare* (Arcila et al., 2004). La suplementación con aceite de orégano mexicano (AOM) puede aumentar la eficiencia alimenticia, modificando la flora ruminal y aumentando la digestión. Asimismo, interviene en la bio hidrogenación de los ácidos grasos y en la calidad de la carne (García et al., 2020).

Por otro lado, el ácido málico o malato, disponible comercialmente como sal disódica; malato de dl-sodio (MAL), es un ácido dicarboxílico de cuatro carbonos que es un intermediario en la vía succinato-propionato de las bacterias ruminales (Castillo et al., 2004), principalmente estimula una dinámica poblacional de *Selenomonas ruminantium* que favorece una fermentación ruminal 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 (Martínez-González, 2015).

Por ende, el objetivo de esta investigación fue medir los efectos del AOM y del MAL en el comportamiento productivo y características de la canal de corderos de engorda.

4.3 Materiales y Métodos

4.3.1 Animales y tratamientos

Todos los procedimientos cumplieron con la norma oficial mexicana (NOM-062-ZOO, 1999) "Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio". Dieciséis corderos Dorper con 127 ± 15 días de edad y un peso de 33.86 ± 6.23 kg fueron asignados mediante un diseño completamente al azar a 3 tratamientos; 1) CO, dieta control, 2) AOM, CO + aceite esencial de orégano (100 mg kg^{-1} de MS) y 3) MAL, CO + malato de sodio (3% de la dieta).

4.3.2 Manejo de los animales

Los borregos fueron desparasitados con ivermectina al 1 % (Dectiver, Lapisa salud animal, Michoacán, México) y vacunados contra clostridiales (Bovimune Clostri 10; Lapisa salud animal, Michoacán, México). Los corderos se confinaron en corrales individuales (290 x 105 cm) equipados de agua y de comedero. La alimentación se llevó a cabo una vez al día a la 8:00 h de manera individual, ofreciendo un 10 % más de lo consumido el día anterior, para proporcionar condiciones *ad libitum* y registrar el consumo diario. La dieta base se formuló para contener aproximadamente 17 % de PC de la materia seca. Los ingredientes principales de la dieta fueron: cascarilla de soya, pasta de soya y grano de maíz, este último se incluyó mitad molido y mitad quebrado para aumentar la masticación. Se incluyó también una premezcla (5 g kg^{-1}) con vitaminas y minerales.

Los corderos fueron adaptados durante 10 d antes del período experimental de 56 d en el que se tomaron los datos. Después de adaptarse a los corrales

y a las dietas experimentales, los borregos fueron pesados 2 d consecutivos para proporcionar pesos basales. El promedio de peso de los corderos en los días 0, 28 y 56 se obtuvo promediando con el peso de un día después, es decir 0 y 1, 28 y 29, y finalmente en 56 y 57, respectivamente.

4.3.3 Lípidos sanguíneos

Una muestra de sangre de cada cordero se obtuvo al principio (día 0) y al final del experimento (día 56) vía punción de la vena yugular y fue depositada en tubos contenedores Vacutainer (Franklin Lake, N.J., USA) sin conservador.

Perfiles de colesterol (COL), triglicéridos (TRIG) se determinaron de acuerdo con Cohn et al. (1988) en muestras de suero, y se midieron por duplicado mediante espectrofotometría. Para este análisis se utilizará un kit comercial (Spinreact; Stanbio Laboratory, Boerne, Texas, EE. UU.).

4.3.4 Variables de sacrificio

Al día 56 del experimento, los corderos se sacrificaron de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, “Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres”. En este proceso, se registró el peso de los borregos al sacrificio (PS) y el peso de la canal caliente (PCC), y se calculó el rendimiento en canal caliente (RCC).

4.3.5 Análisis de la calidad de la carne

Para evaluar la calidad de la carne, una muestra del músculo *Longissimus lumborum* se extrajo del lado izquierdo de la canal, de la costilla 8° a 13°, la cual se utilizó para determinar el pH, color, capacidad de retención de agua (CRA), pérdida por cocción (PC) y textura, y también se usó para la evaluación sensorial a las 24 h *post mortem*.

Los valores de pH se determinaron con un potenciómetro usando un electrodo de punción Orion 3 Star (Thermo Fisher Scientific; Pittsburgh, PA, E.U.A.). Los valores que se midieron en la prueba de colorimetría fueron: luminosidad (L^*); enrojecimiento (a^*); amarillez (b^*); índice de saturación (Chroma); y ángulo Hue (tonalidad), disponiendo de un colorímetro CR-400 (Konica Minolta®; Tokyo, Japón; CIE Standard Illuminant/Observer: D65/10).

La CRA se midió utilizando el método de compresión como lo hicieron Martínez-Rojas (2022) con ligeras modificaciones, pesando una muestra de carne de 281 ± 15 mg, colocándola en papel filtro, entre 2 placas de plástico acrílico, aplicando una fuerza de 4.0 kg durante 20 min, y obteniendo el peso final ($CRA = 100 - ([\text{peso inicial} - \text{peso final}] / \text{peso inicial}) \times 100$).

La PC se determinó de acuerdo con el método utilizado por De Brito et al. (2016), en donde las muestras se colocaron en bolsas de vacío retractiles (Zubex Industrial S.A. de C.V.; Monterrey, Nuevo León, México) y se empaquetaron al vacío individualmente en un equipo Koch 800 (Koch Equipment LLC; Kansas, MO, E.U.A.). Se cocieron a 75.0 ± 0.1 °C por 1 h a baño maría. Después, las muestras se enfriaron por inmersión en un baño de agua a 4 °C durante 20 min. Las piezas se retiraron de las bolsas, se escurrieron cuidadosamente y se pesaron. Los pesos de los cortes crudos y cocidos de cada muestra se registraron para evaluar PC ($\% PC = (\text{Peso Crudo} - \text{Peso Cocido}) / \text{Peso Crudo} \times 100$). La composición química del músculo *Longissimus lumborum* se determinó mediante un análisis químico proximal usando las técnicas aprobadas por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2010).

Variables de textura de la carne

La fuerza de corte (FC) y el análisis del perfil de textura (APT) del músculo *Longissimus lumborum* se midieron con el textuómetro TA.XT2i (Stable Microsystems; Surrey, Inglaterra). La FC fue medida utilizando una cuchilla

Warner-Braztler con una ranura triangular invertida (Hopkins et al., 2006). Los cortes de muestra se realizaron en probetas de 1 x 1 x 3.0 cm, en dirección de las fibras musculares. Las condiciones de prueba utilizadas en el instrumento fueron a velocidad de 2 mm s⁻¹ pre-prueba, 2 mm s⁻¹ en prueba, post-prueba 10 mm s⁻¹ y una distancia de 30 mm. La FC se calculó a partir del punto máximo de la curva obtenida de la prueba.

En el APT se emplearon cilindros estandarizados de 1.5 cm de altura y 1.5 cm de diámetro, orientados perpendicularmente en dirección de las fibras musculares. Un pistón cilíndrico se utilizó para comprimir la muestra 60 % de la altura original en dos ciclos de compresión, en un lapso de 5 s entre ellos. Las curvas de deformación tiempo-fuerza se obtuvo a partir de las condiciones establecidas en el texturómetro. Las velocidades utilizadas fueron pre-prueba 1.0 mm s⁻¹, durante la prueba 5.0 mm s⁻¹, y post-prueba 5.0 mm s⁻¹. Los siguientes parámetros se registraron según Reynoso-Escobedo (2022): dureza (g), adhesividad (g s⁻¹), elasticidad (mm), cohesividad (sin dimensiones), gomosidad (g), masticabilidad (g/mm) y resiliencia (sin dimensiones).

Evaluación sensorial

La carne se empacó al vacío, cocinada a 75 °C por 1.5 h, pre-enfriada a 4 °C durante 20 min y almacenada por 12 h a 4 °C. La carne se sometió a una prueba sensorial afectiva por atributos (Anzaldúa-Morales, 1994; Meilgaard et al., 1994) para determinar el grado de satisfacción de 50 consumidores. Cada consumidor recibió aleatoriamente seis cubos de 1.5 cm por lado a 28 °C, colocados en vasos de plástico codificados con tres números al azar. Esto para ser proporcionados en forma aleatoria a cada evaluador durante la prueba. Los atributos evaluados fueron: olor, sabor, jugosidad, suavidad y aceptabilidad global. Una escala hedónica de cinco puntos se usó en esta prueba, donde 5 = me gusta mucho, 4 = me gusta ligeramente, 3 = ni me gusta ni me disgusta, 2 = me disgusta ligeramente y 1 = me disgusta mucho.

4.3.7 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables de rendimiento y lípidos en sangre se analizaron utilizando el método PROC MIXED con medidas repetidas en el tiempo (Montgomery, 2020), usando el software SAS (Statistical Analysis System, versión 9.0), considerando los efectos fijos del tratamiento y el día de la engorda como factor aleatorio; el peso inicial y la edad del cordero se ajustó como covariable en el modelo estadístico (Wang y Goonewardene, 2004) bajo el siguiente modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + b_1(\overline{X}_{ij} - X_{ij}) + b_2(\overline{X}_{ij} - X_{ij}) + \alpha_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde, Y_{ij} = variable respuesta, μ = media general de todos los datos experimentales, τ_i = efecto asociado con el tratamiento b_1 = es el coeficiente de regresión lineal de la covariable peso inicial, b_2 = es el coeficiente de regresión lineal de la covariable edad α_j = efecto asociado con el día de la engorda y ε_{ij} = error experimental asociado con el tratamiento.

El análisis de características de la carne se analizó mediante el análisis de varianza obtenido con el procedimiento GLM de SAS, estableciendo los tratamientos como efectos fijos en el modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + b_1(\overline{X}_i - X_i) + b_2(\overline{X}_i - X_i) + \varepsilon_{ij}$$

Donde Y_i = variable respuesta, μ = media general de todos los datos experimentales, τ_i = efecto asociado con el tratamiento b_1 = es el coeficiente de regresión lineal de la covariable peso inicial, b_2 = es el coeficiente de regresión lineal de la covariable edad y ε_i = error experimental asociado con el tratamiento. En el análisis de datos sensoriales, el evaluador fue considerado como efecto del j -ésimo en el modelo estadístico, manteniendo el efecto del tiempo, tratamiento y su interacción en el modelo.

En ambos casos de análisis de los valores de los datos de producción y calidad de la carne se usará un nivel de significancia de $P < 0.05$ para encontrar diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

4.4 Resultados y discusión

4.4.1 Productividad, masticación y lípidos sanguíneos

Las variables de productividad se muestran en el Cuadro 1 donde el tiempo tuvo efecto interactivo con el tratamiento en GDP ($p < 0.068$) y E:A ($p < 0.045$), marcando un mejor comportamiento en los primeros 28 días para el AOM y reduciéndose en la parte final de la engorda. Varios autores señalan que los aceites esenciales tienen propiedades para mejorar la digestión con la actividad de enzimas digestivas y absorción de nutrientes, así como mejorar la respuesta inmune (Chowdhury et al., 2018; Feng et al., 2021; Hashemipour, et al., 2013). Este efecto solo se percibe en los primeros días por lo que el efecto se desvanece conforme aumenta el tiempo de exposición al tratamiento. La ausencia de efecto en el desempeño cuando el alimento contiene MAL ($p > 0.05$) coincide con Loya-Olguin et al. (2019) donde no presentaron significancia cuando suplementaron a corderos 4 g d^{-1} de DL-ácido málico.

Cuadro 11. Peso vivo, consumo de materia seca (CMS), ganancia diaria de peso (GDP) y eficiencia alimenticia (E:A) de corderos con la inclusión en la dieta de aceite de orégano y malato de sodio.

Parámetro	Tratamientos ¹				P-value ³		
	CON	MAL	AOM	EEM ²	Trat	Dia	Trat*Dia
Peso Vivo (kg)							
0 d	33.57	34.60	33.48	1.477	0.947	<.0001	0.113
28 d	43.38	45.28	44.59				
56 d	54.33	54.03	51.84				
CMS (Kg/d)							
0-28 d	1.224	1.204	1.344	0.038	0.826	0.008	0.256
28-56 d	1.447	1.393	1.380				
0-56 d	1.336	1.299	1.362				
GDP (Kg/d)							
0-28 d	0.350	0.382	0.396	0.016	0.488	0.076	0.068
28-56 d	0.391	0.313	0.259				
0-56 d	0.370	0.348	0.328				
E:A							
0-28 d	0.286	0.325	0.295	0.012	0.084	0.000	0.045
28-56 d	0.269	0.230	0.186				
0-56 d	0.277	0.278	0.241				

¹ CON: Control; MAL: Malato de sodio; AOM: Aceite de orégano mexicano

² EEM: Error estándar de la media

³ Trat: Tratamiento; Dia: Día del experimento; Trat*Dia; Interacción del tratamiento con el día del experimento.

Las variables de masticación muestran que el AOM estimulo más las rumia ($p= 0.017$) y por ende la masticación total ($p= 0.022$), mientras el MAL y CON se mantuvieron iguales. Este comportamiento puede atribuirse a la estimulación de la secreción de enzimas digestivas, como amilasa y quimotripsina, que pudiera tener mayor salivación y la utilización de los componentes del alimento (Wade et al., 2018). Este estudio contrasta con lo encontrado por Gonzalez-Momita et al., 2009 donde los corderos que consumieron alimento con MAL tuvieron menos rumia, a diferencia de los corderos del grupo testigo.

Como intermediarios importantes en el ciclo del ácido cítrico, el malato, el citrato, el succinato y el fumarato desempeñan un papel crucial en los microorganismos en el rumen (Guo et al., 2020). Estudios previos han

demostrado que el MAL podrían estimular la fermentación ruminal y aumentar la digestibilidad del alimento (Carro et al., 1999; Sun et al., 2008). Wang et al. (2009) también confirmaron que la suplementación de ácido málico tuvo efectos positivos en la producción de leche, aunque para este experimento no se presentaron beneficios tanto en la productividad como en la masticación. Según un estudio previo (Ke et al., 2017), se ha demostrado que la aplicación de ácidos como el málico y cítrico en el ensilado proporciona aditivos alimenticios adicionales a los animales que pueden promover el rendimiento animal. Además, podrían aumentar la diversidad de la comunidad bacteriana en el rumen (Mao et al., 2008).

Cuadro 12. Efecto de la masticación con la inclusión en la dieta de aceite de orégano y malato de sodio.

Variable	Tratamientos			EEM	P-value
	CON	MAL	AOM		
Consumo	86	82	91	6.9	0.906
Rumia	38 ^b	37 ^b	72 ^a	6.7	0.017
Masticación total	124 ^b	119 ^b	162 ^a	6.7	0.022

¹ CON: Control; MAL: Malato de sodio; AOM: Aceite de orégano mexicano

² EEM: Error estándar de la media

^{a-b} Medias en fila y con diferente superíndice son diferentes significativamente (P<0.05).

Las concentraciones de lípidos en sangre aparecen en el cuadro 3 donde el tiempo fue significativo ($p < 0.05$) ya que en todos los tratamientos se tiene un aumento en los niveles medidos de colesterol y de triglicéridos solo CON y MAL, esto puede deberse a que la dieta contenía el 2 % de aceite vegetal como ingrediente energético. Se obtiene una tendencia en el AOM ($p = 0.115$) en la concentración de triglicéridos ya que no presenta un aumento en la concentración de triglicéridos al inicio del periodo hasta el final, esto puede coincidir con lo que encontraron Malekhhahi et al., 2014 quienes obtuvieron la menor concentración de triglicéridos cuando suplementaron una mezcla de aceites esenciales (timol, carvacrol, eugenol, limoneno y cinamaldehído).

Cuadro 13. Concentración de lípidos sanguíneos de corderos con la inclusión en la dieta de aceite de orégano y malato de sodio.

Variable mg dl ⁻¹	Tratamientos ¹				EEM ²	P-value ³		
	CON	MAL	AOM			Trat	Dia	Trat*Dia
Colesterol								
0	28.72	32.53	33.11	3.97	0.249	<.0001	0.273	
56	58.73	78.38	64.23					
Trigliceridos								
0	15.69	21.07	17.96	2.94	0.115	0.047	0.177	
56	33.27	41.25	15.18					

¹ CON: Control; MAL: Malato de sodio; AOM: Aceite de orégano mexicano

² EEM: Error estándar de la media

³ Trat: Tratamiento; Dia: Día del experimento; Trat*Dia; Interacción del tratamiento con el día del experimento.

4.4.2 Variables fisicoquímicas de la carne

Las variables de color y CRA no tuvieron ningún efecto significativo para ninguno de los tratamientos ($p > 0.05$). Los resultados de color coinciden con Ortiz-Heredia 2022 donde no encontraron diferencias cuando suplementaron aceites esenciales y malato de calcio en la engorda de corderos. Para el caso de CRA, Haro et al., (2020) tampoco observaron diferencias cuando suplementaron ácido málico en la engorda de corderos.

Cuadro 14. Variables fisicoquímicas y parámetros de color de la carne de corderos con la inclusión en la dieta de aceite de orégano y malato de sodio

Variable ¹	Tratamientos ²			EEM ³	P-value
	CON	MAL	AOM		
RCC (%)	49.22	54.53	52.10	0.89	0.053
pH	5.90	5.79	5.87	0.02	0.098
CRA	67.91	68.37	68.15	0.64	0.964
L*	45.03	45.87	45.96	0.56	0.633
a*	15.55	15.05	14.95	0.36	0.672
b*	9.08	7.93	8.80	0.37	0.466
Chroma	17.59	17.09	17.38	0.44	0.882
Hue	29.99	28.39	30.57	0.80	0.566

¹ RCC: Rendimiento de canal caliente; pH = potencial de hidrógeno; CRA = capacidad de retención de agua L* = Luminosidad; a* = tendencia a rojo; b* = tendencia al amarillo; Chroma = índice de saturación; Hue = ángulo Hue (tono).

² CON: Control; MAL: Malato de sodio; AOM: Aceite de orégano mexicano

³ EEM: Error estándar de la media

La variable de RCC muestra una tendencia ($p= 0.053$) a aumentar cuando se suplementan los aditivos tanto MAL como AOM, este comportamiento difiere con lo reportado por Muñoz-Cuautle et al., 2022, donde ellos no encontraron diferencia en esta variable. Estos resultados favorables en nuestro estudio pueden ser explicados por una mejora en la utilización de los nutrientes principalmente en el rumen, diversos estudios plasman evidente que tanto como el AOM y los ácidos orgánicos como el MAL pueden tener un efecto similar a un promotor de crecimiento o ionóforos (Cobellis et al., 2016; Lin et al., 2013; Lin et al., 2012; Zhou et al., 2020).

Otro parámetro que marca una tendencia ($p= 0.098$) es una disminución en pH cuando se adiciona AOM aunque no fue significativa se ha demostrado por otros autores como Cázares-Gallegos et al. (2019) que el AOM puede influir en el pH de la carne de pollo; esos autores reportaron un decremento de 0.26 unidades de la dosis más alta con respecto al control, este efecto del pH de la carne de pechuga pollo obtenida podría explicarse por lo indicado por Llana-Ruiz-Cabello et al. (2015), en que la alta actividad antioxidante del timol y

carvacrol del AOM, se debe a la presencia de grupos OH fenólicos, que actúan como donadores de hidrógeno, capaces de eliminar los radicales superóxido y peróxido de hidrógeno.

Cuadro 15. Composición química proximal de la carne de corderos con la inclusión en la dieta de aceite de orégano y malato de sodio

Variable (%)	Tratamientos ¹			EEM ²	P-value
	CON	MAL	AOM		
Proteína	27.44	27.90	27.84	0.18	0.597
Grasa	62.15 ^a	61.37 ^a	59.42 ^b	0.43	0.001
Cenizas	1.00	1.01	1.10	0.02	0.117
Fibra	0.57	0.60	0.20	0.10	0.209

¹ CON: Control; MAL: Malato de sodio; AOM: Aceite de orégano mexicano

² EEM: Error estándar de la media

^{a-b} Medias en fila y con diferente superíndice son diferentes significativamente (P<0.05).

La química proximal de la carne se manifestó un decremento contundente en el componente grasa ($p= 0.001$) para la carne de los ovinos que fueron alimentados con la adición de AOM, este resultado contrasta con Muñoz-Cuautle et al., 2022 quienes no encontraron diferencia en la grasa cuando suplementaron hasta 4000 ppm de AOM, y se opone a lo que ocurrió en carne de pollo donde dosis altas aumentaron el contenido de grasa (Méndez-Zamora et al. 2015).

Aunque este efecto es controversial puede estar influido por el perfil de ácidos grasos que conformen la grasa de los corderos que su alimento contenía AOM. García-Galicia et al. (2020) reportaron que una dosis de 3000 ppm en la engorda de cordero modifica el perfil de ácidos grasos, pero la inclusión de 4000 ppm modificó el perfil de ácidos grasos de manera indeseable. La suplementación con AEO puede modificar la fermentación ruminal cambiando las concentraciones de AGV y alterar las bacterias del rumen (Zhou et al., 2020). Esto implicaría cambios en los ácidos grasos de la carne. Aunado a este efecto se tiene que los triglicéridos son menores en sangre, como se vio

en el cuadro 3 por lo que se obtiene un puntual efecto inclusive de interés para la salud humana.

4.4.3 Análisis de Textura de la carne

Cuadro 16 Pérdida por cocción y análisis de textura de la carne de corderos con la inclusión en la dieta de aceite de orégano y malato de sodio

Variable	Tratamientos ¹			EEM ²	P-value
	CON	MAL	AOM		
Perdida por cocción (%)	29.98	29.74	31.14	0.69	0.692
Fuerza de Corte (N)	29.24	35.86	34.28	1.72	0.286
Dureza (N)	26.75 ^b	41.16 ^a	31.35 ^{ab}	2.38	0.045
Adhesividad (g/s)	-5.46	-4.46	-2.61	0.76	0.295
Elasticidad (mm)	0.59	0.63	0.64	0.01	0.120
Cohesividad	0.55	0.59	0.58	0.01	0.274
Gomosidad (g)	15.17 ^b	24.26 ^a	18.57 ^{ab}	1.45	0.039
Masticabilidad (g/mm)	9.22 ^b	15.12 ^a	11.83 ^{ab}	0.91	0.033
Resiliencia	0.26	0.30	0.28	0.01	0.229

¹ CON: Control; MAL: Malato de sodio; AOM: Aceite de orégano mexicano

² EEM: Error estándar de la media

^{a-b} Medias en fila y con diferente superíndice son diferentes significativamente (P<0.05).

La cualidad de dureza fue menor ($p < 0.05$) para el control mientras que la carne con mayor resistencia al corte fue para el MAL, el AOM fue similar a ambos, este efecto fue similar al de Hernández-Coronado et al. (2019) donde indicaron que los valores de fuerza de corte y resiliencia difirieron con la suplementación de AOM. Esos resultados indican que el AOM suplementado podría tener efectos sobre la textura de la carne, principalmente sobre la fuerza de corte en función de la fibra muscular y contenido de agua, pero es necesario más investigación de como el AOM puede cambiar la textura de la carne de rumiantes.

4.4.4 Evaluación sensorial de la carne.

En la evaluación sensorial; el sabor fue significativo ($p < 0.05$) siendo mejor evaluado la carne de los corderos que fueron alimentados con MAL seguido del tratamiento CON y teniendo la menor aceptación el tratamiento de AOM, este comportamiento de ser el menos aceptado fue similar para suavidad jugosidad y aceptación global, probablemente la jugosidad de la carne de los corderos que recibieron AOM está relacionado con el contenido de grasa como se muestra en la Cuadro 5 donde la presencia es menor, y con esto se impactó en las demás variables hasta la aceptación global.

Cuadro 17. Evaluación sensorial de la carne de corderos con la inclusión en la dieta de aceite de orégano y malato de sodio

Variable	Tratamientos ¹			EEM ²	P-value
	CON	MAL	AOM		
Olor	2.08	2.11	1.81	0.065	0.125
Sabor	1.92 ^b	2.33 ^a	1.75 ^b	0.069	0.001
Suavidad	2.13 ^a	2.14 ^a	1.73 ^b	0.069	0.022
Jugosidad	2.28 ^a	1.98 ^{ab}	1.73 ^b	0.074	0.009
Aceptabilidad global	2.09 ^a	2.22 ^a	1.69 ^b	0.071	0.005

¹ CON: Control; MAL: Malato de sodio; AOM: Aceite de orégano mexicano

² EEM: Error estándar de la media

^{a-b} Medias en fila y con diferente superíndice son diferentes significativamente ($P < 0.05$).

Estos resultados son contrarios a los obtenidos por Martínez-Rojas 2022 donde los resultados indicaron que la suplementación de AOM no influyen en la percepción y aceptación sensorial de la carne de bovinos de engorda. En el caso de carne de pollo Hernandez-Coronado et al. 2019 obtuvieron mayor aceptación en el olor y sabor cuando los pollos obtenían AOM en el agua de bebida caso contrario a lo que se obtiene en el presente estudio donde el AOM fue el que obtuvo menor calificación. Cabe mencionar que el panel de calificadores puede influir, este experimento se realizó en el estado de Nuevo León, por lo que cuestiones culturales pueden influir, sí se realizara en otras partes del país de México como en el centro o sur la aceptación puede variar.

4.5 Conclusión

EL aceite de orégano mexicano en dieta puede incrementar el rendimiento productivo en los primeros 28 días de la engorda de corderos. Los triglicéridos en sangre no aumentan cuando se adiciona el aceite de orégano mexicano a la dieta así como la concentración de grasa de estos corderos es menor que el CON y MAL. La textura en general de la carne de corderos puede ser mejor cuando se adiciona AOM en la dieta, pero puede ser menos aceptada por el consumidor a diferencia del MAL. Se requiere más información para dilucidar como el AOM interfiere en el metabolismo de los lípidos y poder tener mejor explicación de este fenómeno.

4.6 Literatura citada

- Anzaldúa-Morales, A. (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica* (pp. 13-14). Zaragoza: Acribia.
- Aoac, I. (2010). Official methods of analysis of AOAC international, 18th ed. *AOAC Int*, 6(382), 90022-5.
- Arcila-Lozano, C. C., Loarca-Piña, G., Lecona-Urbe, S., & González de Mejía, E. (2004). El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 54(1), 100-111.
- Avila-Sosa, R., Gastélum-Franco, M. G., Camacho-Dávila, A., Torres-Muñoz, J. V., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2010). Extracts of Mexican oregano (*Lippia berlandieri* Schauer) with antioxidant and antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*, 3, 434-440.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D. & Idaomar M. (2008). Biological effects of essential oils: A review. *Food and Chemical Toxicology* 46: 446-475.
- Carro, M. D., López, S., Valdés, C., & Ovejero, F. J. (1999). Effect of DL-malate on mixed ruminal microorganism fermentation using the rumen simulation technique (RUSITEC). *Animal Feed Science and Technology*, 79(4), 279-288.
- Casewell, M., Friis, C., Marco, E., McMullin, P., & Phillips, I. (2003). The European ban on growth-promoting antibiotics and emerging

- consequences for human and animal health. *Journal of antimicrobial chemotherapy*, 52(2), 159-161.
- Castillo, C., Benedito, J. L., Méndez, J., Pereira, V., Lopez-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.
- Cázares-Gallegos, R., Silva-Vázquez, R., Hernández-Martínez, C. A., Gutiérrez-Soto, J. G., Kawas-Garza, J. R., Hume, M. E., y Méndez-Zamora, G. M. (2019). Performance, carcass variables, and meat quality of broilers supplemented with dietary Mexican oregano oil. *Brazilian Journal of Poultry Science*,
- Chowdhury, S., Mandal, G. P., Patra, A. K., Kumar, P., Samanta, I., Pradhan, S., & Samanta, A. K. (2018). Different essential oils in diets of broiler chickens: 2. Gut microbes and morphology, immune response, and some blood profile and antioxidant enzymes. *Animal Feed Science and Technology*, 236, 39-47.
- Cobellis, G., Trabalza-Marinucci M., & Yu, Z. (2016). Critical evaluation of essential oils as rumen modifiers in ruminant nutrition: A review. *Science of the Total Environment*. 545–546:556–568.
- Cohn, J. S., McNamara, J. R., & Schaefer, E. J. (1988). Lipoprotein cholesterol concentrations in the plasma of human subjects as measured in the fed and fasted states. *Clinical chemistry*, 34(12), 2456-2459.
- De Brito, G. F., McGrath, S. R., Holman, B. W., Friend, M. A., Fowler, S. M., Van De Ven, R. J., & Hopkins, D. L. (2016). The effect of forage type on lamb carcass traits, meat quality and sensory traits. *Meat Science*, 119, 95-101.
- 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.
- 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.
- García-Pérez, E., Fernando Francisco, C. Á., Gutiérrez-Urbe, J. A., & García-Lara, S. (2012). Revisión de la producción, composición fitoquímica y propiedades nutraceuticas del orégano mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2), 339-353.
- Feng, J., Lu, M., Wang, J., Zhang, H., Qiu, K., Qi, G., & Wu, S. (2021). Dietary oregano essential oil supplementation improves intestinal functions

- and alters gut microbiota in late-phase laying hens. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12, 1-15.
- Gartner, R. J. W., & O'Rourke, P. K. (1977). Effects of antibiotics, dried molasses distillers solubles and zeranol in all-sorghum grain rations fed to steers. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 17(85), 214-223.
- Guo, X. S., Bai, J., Li, F. H., Xu, D. M., Zhang, Y. X., Bu, D. P., & Zhao, L. S. (2020). Effects of malate, citrate, succinate and fumarate on fermentation, chemical composition, aerobic stability and digestibility of alfalfa silage. *Animal Feed Science and Technology*, 268, 114604.
- Hashemipour, H., Kermanshahi, H., Golian, A., & Veldkamp, T. (2013). Effect of thymol and carvacrol feed supplementation on performance, antioxidant enzyme activities, fatty acid composition, digestive enzyme activities, and immune response in broiler chickens. *Poultry Science*, 92(8), 2059-2069.
- 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.
- Hernández-Coronado, A. C., Silva-Vázquez, R., Rangel-Nava, Z. E., Hernández-Martínez, C. A., Kawas-Garza, J. R., Hume, M. E., y Méndez-Zamora, G. (2019). Mexican oregano essential oils given in drinking water on performance, carcass traits, and meat quality of broilers. *Poultry Science*, 98(7), 3050-3058.
- Hopkins, D. L., Hegarty, R. S., Walker, P. J. & Pethick, D. W. (2006). Relationship between animal age, intramuscular fat, cooking loss, pH, shear force and eating quality of aged meat from sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46:879–884.
- Ke, W. C., Ding, W. R., Xu, D. M., Ding, L. M., Zhang, P., Li, F. D., & Guo, X. S. (2017). Effects of addition of malic or citric acids on fermentation quality and chemical characteristics of alfalfa silage. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 8958-8966.
- Lin, B., Lu, Y., Wang, J. H., Liang, Q., & Liu, J. X. (2012). The effects of combined essential oils along with fumarate on rumen fermentation and methane production in vitro. *J. Anim. Feed Sci*, 21(1), 198-210.
- Lin, B., Wang, J. H., Lu, Y., Liang, Q., & Liu, J. X. (2013). In vitro rumen fermentation and methane production are influenced by active components of essential oils combined with fumarate. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97(1), 1-9.
- Loya-Olguin, J. L., Ávila Ramos, F., Martínez Gonzalez, 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>
- Mao, S. Y., Zhang, G., & Zhu, W. Y. (2008). Effect of disodium fumarate on ruminal metabolism and rumen bacterial communities as revealed by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of 16S ribosomal DNA. *Animal feed science and technology*, 140(3-4), 293-306.
- Malekhhahi, 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.
- 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>.
- Martínez-Rojas, J. (2022). *Evaluación del aceite de orégano sobre la calidad de aguacate y su efecto en la producción y calidad de la carne de bovinos* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Meilgaard, M. (1991). Affective tests: Consumer tests and in-house panel acceptance tests. *Sensory evaluation techniques*, 201-235.
- Méndez-Zamora, G.; García-Macías, J. A.; Santellano-Estrada, E.; Durán-Meléndez, L. A. y Silva-Vazquez, R. (2015). Aceite de orégano sobre la calidad de pechuga de pollos de engorda. *Investigación y Ciencia* 65:5-12.
- Montgomery, D. C. (2020). *Design and analysis of experiments* (10th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Gonzalez-Momita, M. L., Kawas, J. R., García-Castillo, R., Gonzalez-Morteo, C., Aguirre-Ortega, J., Hernandez-Vidal, G., ... & 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.
- Muñoz-Cuautle, A., Ortega-Cerrilla, M. E., Herrera-Haro, J. G., Nava-Cuellar, C., Gutiérrez-Olvera, C., Ramírez-Bribiesca, J. E., & Zetina-Córdoba, P. (2022). Effect of oregano (*Lippia graveolens*) essential oil as a phytogenic feed additive on productive performance, ruminal fermentation, and antioxidant activity in lamb meat. *Agriculture*, 12(7), 973.

- NOM NOM-033- SAG/ZOO-2014. (2014). Norma Oficial Mexicana. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. Accessed March 2021. <http://www.economia-noms.gob.mx/noms/consultasAction.do>.
- NOM NOM-062-ZOO-1999. (1999). Norma oficial mexicana, especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio. Accessed March 2021. <http://www.economia-noms.gob.mx/noms/consultasAction.do>.
- Ortiz Heredia, M. A. (2022). *Comportamiento productivo, fermentación ruminal y características de la carne de corderos suplementados con aceites esenciales y malato de calcio* (Doctoral dissertation).
- Reynoso Escobedo, H. (2022). *Efecto del aceite esencial de orégano en la vida de anaquele de carne de bovino* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Llana-Ruiz-Cabello, M., Gutiérrez-Praena, D., Puerto, M., Pichardo, S., Jos, Á., y Cameán, A. M. (2015). In vitro pro-oxidant/antioxidant role of carvacrol, thymol and their mixture in the intestinal Caco-2 cell line. *Toxicology in vitro*, 29(4), 647-656.
- Sun, W., Mitsumori, M., & Takenaka, A. (2008). The detection of possible sensor histidine kinases regulating citrate/malate metabolism from the bovine rumen microbial ecosystem. *Letters in applied microbiology*, 47(5), 462-466.
- Wade, M. R., Manwar, S. J., Kuralkar, S. V., Waghmare, S. P., Ingle, V. C., y Hajare, S. W. (2018). Effect of thyme essential oil on performance of broiler chicken. *J. Entomol. Zool. Stud*, 6(3), 25-28.
- Wang, C., Liu, Q., Yang, W. Z., Dong, Q., Yang, X. M., He, D. C., Dong, K.H., & Huang, Y. X. (2009). Effects of malic acid on feed intake, milk yield, milk components and metabolites in early lactation Holstein dairy cows. *Livestock Science*, 124(1-3), 182-188.
- Wang, Z., & Goonewardene, L. A. (2004). The use of MIXED models in the analysis of animal experiments with repeated measures data. *Canadian Journal of Animal Science*. 84(1), 11.
- Zhou, R., Wu, J., Lang, X., Liu, L., Casper, D. P., Wang, C., Zhang, L., and Wei, S., 2020. Effects of oregano essential oil on in vitro ruminal fermentation, methane production, and ruminal microbial community. *Journal of Dairy Science*, 103(3), pp 2303-2314.