

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



UANL

**ACEITE DE ORÉGANO EN EL SUSTITUTO LÁCTEO COMO
ALTERNATIVA A LOS ANTIBIÓTICOS SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y
CALIDAD DE LA CARNE DE CABRITOS**

Por

MC. JOCELYN CYAN LÓPEZ PUGA

**Como requisito parcial para obtener el grado de
DOCTORADO EN CIENCIA ANIMAL**

Junio, 2026



UANL

**ACEITE DE ORÉGANO EN EL SUSTITUTO LÁCTEO COMO
ALTERNATIVA A LOS ANTIBIÓTICOS SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y
CALIDAD DE LA CARNE DE CABRITOS**

APROBACIÓN DE LA TESIS

D.Ph. Gerardo Méndez Zamora
Director / Facultad de Agronomía, UANL.

Ph.D. Jorge R. Kawas Garza
Codirector / Facultad de Agronomía, UANL.

Dra. Daniela Saraí Rico Costilla
Codirectora / Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UANL.

Dra. Sughey Ramona Sinagawa García
Codirectora / Facultad de Agronomía, UANL.

Dr. Gustavo Sobrevilla Hernández
Codirector Externo / MNA de México S.A. de C.V.

Dr. Uziel Castillo Velázquez
Subdirector de Posgrado e Investigación
Posgrado Conjunto Agronomía-Veterinaria, UANL.



UANL

**ACEITE DE ORÉGANO EN EL SUSTITUTO LÁCTEO COMO
ALTERNATIVA A LOS ANTIBIÓTICOS SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y
CALIDAD DE LA CARNE DE CABRITOS**

Este trabajo fue realizado en la Unidad Académica Marín y en el Centro de Investigación y Desarrollo en Industrias Alimentarias de la Facultad de Agronomía, así como en el Laboratorio de Metabolismo y Nutrición Animal, en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Nuevo León, bajo la dirección del DPh. Gerardo Méndez Zamora y la codirección del PhD. Jorge R. Kawas Garza.

D.Ph. Gerardo Méndez Zamora
Director / Facultad de Agronomía, UANL.

Ph.D. Jorge R. Kawas Garza
Codirector / Facultad de Agronomía, UANL.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma de Nuevo León, en particular al Posgrado en Conjunto Agronomía-Veterinaria, por aceptarme en el programa. También a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y a la Facultad de Agronomía de la misma universidad, por permitirme utilizar sus instalaciones para los experimentos. Mi gratitud a los profesores del programa por sus valiosas enseñanzas y contribuir en mi crecimiento académico.

Agradezco al SECIHTI por apoyo económico que hizo posibles mis estudios de doctorado. El AEO fue proporcionado por la empresa Natural Solutions SMI. Mi más sincero agradecimiento. También agradezco a MNA de México S.A. de C.V. por su apoyo en la asesoría y colaboración en los estudios presentados. También agradezco al rancho Agrícola La Gloria y, en particular, a la Dra. Karla Castillo por proporcionar los cabritos para el proyecto.

Agradezco a mis asesores: el Dr. Gerardo, el Dr. Gustavo, el Dr. Kawas, la Dra. Dani y la Dra. Sugely, por todo lo que he aprendido y por dedicar su tiempo a mi formación y a este trabajo. También agradezco a la Lic. Julia Arteaga, a quien valoro y aprecio por su apoyo tanto dentro como fuera del laboratorio.

Agradezco sinceramente a quienes apoyaron durante su servicio social en el Laboratorio de Metabolismo y Nutrición Animal y que actualmente son profesionales: MVZ Mónica Torres, QFB Vianney Carreón, QFB Carolina García, MVZ Alejandra Sandoval, QFB Nora Álvarez, MVZ Ximena Rodríguez, MVZ Víctor Martínez, MVZ Avril Gómez, QFB Dulce Rodríguez, QFB Nataly Peña y MVZ Emma Cavazos. También reconozco a mi hermana LDI Frida Astrid López Puga por diseñar los gráficos de este documento. A las amistades más importantes que hice en estos tres años: MC. Lulú Xochipa, MC. Enrique Moar, MC. Caty Cantú, MC. Jimena Martínez, MES. Omar Guzmán y MC. Judith Soto.

A todas las instituciones y personas mencionadas, ¡GRACIAS!

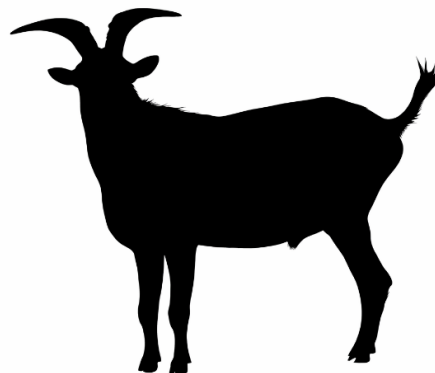
DEDICATORIA



Para mi esposo Gustavo y a nuestro hijo Aldo.



Para mis hermanos, Frida Astrid, Ángel Joaquín y Ángel Raúl.



Y en memoria de mi abuelito, Joaquín Puga Carreón †

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE CUADROS.....	XI
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	XIII
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. ANTECEDENTES.....	19
2.1 Razas de cabras en México.....	19
2.2 La raza Alpino Francés.....	21
2.3 Panorama mundial de la producción caprina de leche y carne.....	22
2.4 Panorama nacional de la producción caprina de leche y carne.....	23
2.5 Panorama estatal de producción de leche y carne caprina.....	24
2.6 Fisiología digestiva de pre-rumiantes.....	25
2.7 Lactancia artificial en la producción lechera y sustitutos de leche.....	26
2.8 Antibióticos en los sustitutos de leche.....	27
2.9 Alternativas a los antibióticos en la producción animal.....	28
2.10 Aceites esenciales de plantas aromáticas en México.....	29
2.11 Aceite esencial de orégano mexicano.....	31
2.12 Mecanismo de acción del AEO.....	31
2.12.1 Mecanismo de acción contra <i>Escherichia coli</i>	32
2.12.2 Otros mecanismos de acción.....	32
2.13 Impacto del AEO en pre-rumiantes.....	33
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	36
4. HIPÓTESIS.....	37
5. OBJETIVOS.....	37
5.1 Objetivo general.....	37
5.1.1 Objetivos específicos.....	37
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39

6.1	<i>Ubicación y tiempo de experimentación</i>	39
6.2	<i>Evaluación de cabritos</i>	39
6.2.1	<i>Diseño experimental</i>	39
6.2.2	<i>Desempeño productivo</i>	40
6.2.3	<i>Crecimiento</i>	46
6.2.4	<i>Parámetros sanguíneos</i>	46
6.2.5	<i>Capacidad antioxidante y fenoles totales en suero</i>	48
6.2.6	<i>Variables de sacrificio</i>	48
6.2.7	<i>Análisis fisicoquímico de la carne</i>	50
6.2.8	<i>Análisis de textura</i>	54
6.2.9	<i>Análisis sensorial</i>	55
6.3	<i>Análisis estadístico</i>	55
7.	RESULTADOS	57
7.1	<i>Desempeño productivo</i>	57
7.2	<i>Crecimiento</i>	60
7.3	<i>Análisis sanguíneo</i>	62
7.4	<i>Capacidad antioxidante del suero sanguíneo</i>	66
7.5	<i>Sacrificio y rendimiento de canal</i>	67
7.6	<i>Bromatología de la carne</i>	68
7.7	<i>Fisicoquímica de la carne</i>	68
7.8	<i>Pérdida por cocción y textura de la carne</i>	70
7.9	<i>Atributos sensoriales de la carne</i>	70
8.	DISCUSIÓN	72
8.1	<i>Desempeño productivo</i>	72
8.2	<i>Crecimiento</i>	73
8.3	<i>Análisis sanguíneo</i>	74
8.4	<i>Capacidad antioxidante del suero sanguíneo</i>	75
8.5	<i>Sacrificio y rendimiento de canal</i>	76
8.6	<i>Bromatología de la carne</i>	77
8.7	<i>Fisicoquímica de la carne</i>	78
8.8	<i>Pérdida por cocción y textura de la carne</i>	79

8.9	<i>Atributos sensoriales de la carne</i>	80
9.	CONCLUSIÓN	82
10.	PERSPECTIVA	83
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
12.	ANEXOS	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cabra blanca pastoreña de Oaxaca, México.....	20
Figura 2. Paso de líquidos a través del tracto digestivo del pre-rumiante.	26
Figura 3. Cabritos Alpino Francés obtenidos de la explotación caprina “Agrícola La Gloria”, en Allende, Nuevo León, México.	41
Figura 4. Sustituto de leche LactoplexVE 24:20	41
Figura 5. Medidas de corrales y acondicionamiento del área experimental	42
Figura 6. AEO utilizado en los tratamientos experimentales.....	42
Figura 7. Adición de los tratamientos experimentales al sustituto lácteo.....	43
Figura 8. Biberones con mamila de silicona especiales para rumiantes.	43
Figura 9. Análisis bromatológico del sustituto lácteo.....	44
Figura 10. Pesaje de los cabritos en un corte experimental	44
Figura 11. Metodología durante 21 días para la alimentación y consumo diario de sustituto lácteo de los cabritos	45
Figura 12. Mediciones corporales con cinta métrica del crecimiento semanal de los cabritos.....	46
Figura 13. Recolección de muestras de sangre a través de venopunción en la yugular..	47
Figura 14. Imagen adaptada de la NOM-033-SAG/ZOO-2014 sobre la representación gráfica del aturdimiento mecánico en cabritos.....	48
Figura 15. Pesaje de canal, piezas y vísceras.....	49
Figura 16. Corte de muestra del músculo Longissimus dorsi	50
Figura 17. Análisis de pH de la carne de cabrito con potenciómetro HANNA HI99163.	51
Figura 18. Determinación de color mediante colorímetro CR-400 Konica Minolta	51

Figura 19. Técnica para evaluar CRA.....	52
Figura 20. Muestras de carne antes y después de la cocción a 75°C para estimar la PPC	53
Figura 21. Procesamiento bromatológico de la carne	53
Figura 22. Texturómetro TA.XT2i Stable MicroSystems realizando la FC de carne de cabrito.....	54
Figura 23. Consumidores realizando la prueba sensorial por atributos de la carne de cabrito.....	55
Figura 24. Condiciones experimentales de los cabritos Alpino Francés (1).....	95
Figura 25. Condiciones experimentales de los cabritos Alpino Francés (2).....	95
Figura 26. Medición de rechazos después de la toma matutina de sustituto lácteo.....	96
Figura 27. Cabritos Alpino Francés durante la alimentación con sustituto lácteo con AEO adicionado	96
Figura 28. Condiciones experimentales de los cabritos Alpino Francés (3).....	97
Figura 29. Condiciones experimentales de los cabritos Alpino Francés (4).....	97
Figura 30. Condiciones experimentales de los cabritos Alpino Francés (5).....	98
Figura 31. Condiciones experimentales de los cabritos Alpino Francés (6).....	99

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales razas caprinas en México según el fin productivo.	20
Cuadro 2. Principales características de las diferentes variedades de color de la raza Alpino Francés.	21
Cuadro 3. Características productivas de las hembras Alpino Francés.	22
Cuadro 4. Panorama productivo mundial de leche y de carne de origen caprino en 2020.	23
Cuadro 5. Panorama productivo nacional de leche y carne de origen caprino del 2021.	24
Cuadro 6. Panorama productivo por municipio en 2021 del estado de Nuevo León.	25
Cuadro 7. Producción nacional de plantas aromáticas con potencial para la obtención de aceites esenciales durante 2021.	30
Cuadro 8. Evidencia reportada sobre los mecanismos de acción del AEO frente a distintas bacterias.	33
Cuadro 9. Resumen de estudios sobre el efecto del AEO en las comunidades de bacterias intestinales de pre-rumiantes.	35
Cuadro 10. Composición del sustituto lácteo (Lactoplex VE 24:20) con los tratamientos adicionados.	40
Cuadro 11. Cálculos para estimar el rendimiento de la canal.	49
Cuadro 12. Desempeño productivo semanal de cabritos con AEO añadido en el sustituto lácteo.	58
Cuadro 13. Desempeño productivo global de cabritos alimentados con AEO en el sustituto lácteo durante tres semanas.	59

Cuadro 14. Crecimiento semanal de cabritos suplementados con AEO en un sustituto lácteo.	61
Cuadro 15. Parámetros bioquímicos de cabritos suplementados con AEO en el sustituto lácteo durante tres semanas.	63
Cuadro 16. Parámetros hematológicos de cabritos suplementados con AEO en el sustituto lácteo durante tres semanas.	65
Cuadro 17. Capacidad antioxidante y fenoles totales en suero sanguíneo de cabritos suplementados con AEO en el sustituto lácteo durante tres semanas.	66
Cuadro 18. Rendimiento de canales, piezas y vísceras de cabritos alimentados con AEO en un sustituto lácteo.	67
Cuadro 19. Análisis bromatológico de la carne del músculo Longissimus dorsi de cabritos alimentados con AEO en un sustituto lácteo.	68
Cuadro 20. Variables fisicoquímicas de la carne de cabritos alimentados con AEO en un sustituto lácteo.	69
Cuadro 21. Pérdida por cocción y perfil de textura de la carne de cabritos alimentados con AEO en un sustituto lácteo.	70
Cuadro 22. Evaluación sensorial de consumidor de la carne de cabritos alimentados con AEO en el sustituto lácteo.	71

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

<i>ad libitum</i>	A libre acceso
a*	Tendencia al color rojo
ABTS	Ensayo del ácido 2, 2'-azino-bis -3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico
AC	Altura a la región de la cruz
AE	Aceite esencial o Aceites esenciales
AEO	Aceite esencial de orégano
AEO12	Sustituto lácteo + 12 mg AEO/200 g ST
AEO24	Sustituto lácteo + 24 mg AEO/200 g ST
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
APT	Análisis de perfil de textura
b*	Tendencia al color amarillo
BH	Biometría hemática
Chroma	Índice de saturación
CMS	Consumo de materia seca
CON	Sustituto lácteo + 20 mg de oxitetraciclina y 40 mg de neomicina
CRA	Capacidad de retención de agua
CT	Circunferencia torácica
EAG	Equivalente de ácido gálico
EE	Extracto etéreo
FC	Fuerza de corte
FRAP	Ensayo del poder antioxidante reductor férrico.
FT	Fenoles totales
hg/An	Hectogramo por animal
Hue	Tonalidad
In vitro	En vidrio (en laboratorio)
In vivo	En un organismo vivo
L*	Luminosidad
LF	Longitud de fémur

LH	Longitud de húmero
MLG	Modelo lineal general (general linear model)
MS	Materia Seca
NRC	National Research Council
PC	Proteína cruda
pH	Potencial de hidrógeno
PPC	Pérdida por cocción
ppm	Partes por millón
PS	Peso al sacrificio
QS	Química sanguínea
RCC	Rendimiento de canal caliente
RCF	Rendimiento de canal fría
ST	Sólidos totales
Trolox	6-hidroxil-2,5,7,8-tetra metil cromano-2- carboxílico

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la inclusión de aceite esencial de orégano (AEO) en un sustituto lácteo sobre el desempeño productivo, los indicadores de salud y las características de calidad de la carne de cabritos Alpino Francés. Se utilizaron 18 cabritos de dos semanas de edad distribuidos en tratamientos de 6 animales cada uno, en un diseño experimental de bloques completos al azar. Los tratamientos fueron: CON, sustituto lácteo medicado con 20 mg de oxitetraciclina y 40 mg de neomicina por 200 g de sólidos totales (ST); AEO12, sustituto lácteo con 12 mg de AEO/200 g de ST; y AEO24, sustituto lácteo con 24 mg de AEO/200 g de ST. Los cabritos recibieron durante tres semanas (21 d) el sustituto lácteo con diferentes niveles de AEO con una adaptación previa de 3 días. Al término del experimento se realizaron evaluaciones productivas (peso final, consumo de materia seca (CMS), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), eficiencia alimenticia (EA), crecimiento corporal, química sanguínea (QS), biometría hemática (BH), capacidad antioxidante (FRAP, ABTS y fenoles totales), variables de sacrificio y rendimiento de canal. Para la calidad de la carne se determinaron el análisis bromatológico, capacidad de retención de agua (CRA), pérdida por cocción (PPC), pH, análisis de perfil de textura (APT) y atributos sensoriales. Durante la primera semana se observó una tendencia ($P = 0.069$) hacia un mayor CMS en los tratamientos AEO12 y AEO24. No se detectaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el desempeño productivo global; sin embargo, ambos tratamientos con AEO mostraron resultados similares al grupo CON que recibió antibióticos. En las variables de crecimiento, el tratamiento CON presentó mayores valores de altura a la región de la cruz (AC), longitud del fémur (LF) y longitud del húmero (LH) al finalizar el periodo experimental, aunque dichas diferencias no fueron consistentes a lo largo de las evaluaciones semanales. En la QS únicamente la concentración de albúmina registró diferencias significativas ($P \leq 0.05$), registrándose el valor más alto en AEO24 y el más bajo en CON. La BH no presentó variaciones entre tratamientos. Asimismo, la suplementación con AEO no modificó las variables relacionadas con el sacrificio. Respecto al rendimiento de cortes, el tratamiento CON mostró mayores porcentajes en cuello y brazos, mientras que AEO12 registró los menores valores. El contenido de proteína fue superior en CON y AEO12 en comparación con AEO24. En las características fisicoquímicas de la carne, AEO24 presentó el mayor valor de pH y CON el menor. La luminosidad (L^*) fue superior en CON, mientras que AEO24 mostró los valores más bajos. Por otro lado, las variables a^* , b^* , Chroma y Hue alcanzaron sus mayores valores en AEO12 y los menores en CON. El APT evidenció diferencias significativas ($P \leq 0.05$), observándose mayor dureza, elasticidad, gomosidad y masticabilidad en AEO24, mientras que CON presentó los valores más bajos para estas variables. La evaluación sensorial registró diferencias ($P \leq 0.05$) en suavidad y jugosidad. La carne procedente de AEO12 fue calificada como más suave y jugosa, mientras que la correspondiente a AEO24 recibió las puntuaciones más bajas para ambos atributos. Se concluye que la suplementación del sustituto lácteo con AEO no comprometió el desempeño productivo ni los indicadores de salud de los cabritos, mostrando resultados comparables a los obtenidos con el tratamiento antibiótico. Sin embargo, la inclusión de AEO influyó en el rendimiento de algunos cortes, así como en determinadas características fisicoquímicas, de textura y composición de la carne.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of supplementation with oregano essential oil (OEO) in a milk replacer on productive performance, health indicators, and meat quality characteristics of French Alpine goat kids. Eighteen two-week-old goat kids were assigned to three treatments with six animals per treatment in a randomized complete block design. The treatments were: CON, medicated milk replacer containing 20 mg of oxytetracycline and 40 mg of neomycin per 200 g of total solids (TS); OEO12, milk replacer supplemented with 12 mg of OEO/200 g TS; and OEO24, milk replacer supplemented with 24 mg of OEO/200 g TS. Goat kids received the experimental milk replacers for three weeks (21 d) following a 3-day adaptation period. At the end of the experimental period, productive performance variables were evaluated, including final body weight, dry matter intake (DMI), average daily gain (ADG), feed conversion ratio (FCR), feed efficiency (FE), body growth measurements, blood chemistry, complete blood count (CBC), antioxidant capacity (FRAP, ABTS, and total phenols), slaughter traits, and carcass yield. Meat quality assessments included proximate composition, water-holding capacity (WHC), cooking loss (CL), pH, texture profile analysis (TPA), and sensory attributes. During the first week, a tendency ($P = 0.069$) toward greater DMI was observed in the OEO12 and OEO24 treatments. No significant differences ($P > 0.05$) were detected in overall productive performance; however, both OEO treatments showed responses comparable to those of the CON group receiving antibiotics. Regarding growth variables, CON exhibited greater values for height at withers (HW), femur length (FL), and humerus length (HL) at the end of the experimental period, although these differences were not consistently observed throughout the weekly evaluations. In blood chemistry, only albumin concentration differed significantly ($P \leq 0.05$), with the highest value recorded in OEO24 and the lowest in CON. No differences were observed in CBC variables among treatments. Likewise, OEO supplementation did not affect slaughter-related traits. For carcass cut yield, CON showed greater percentages for neck and shoulder cuts, whereas OEO12 presented the lowest values. Crude protein content was higher in CON and OEO12 than in OEO24. Regarding physicochemical characteristics of meat, OEO24 showed the highest pH value, while CON exhibited the lowest. Lightness (L^*) was greater in CON, whereas OEO24 showed the lowest values. In contrast, a^* , b^* , Chroma, and Hue values were highest in OEO12 and lowest in CON. Texture profile analysis revealed significant differences ($P \leq 0.05$), with OEO24 exhibiting greater hardness, springiness, gumminess, and chewiness, whereas CON showed the lowest values for these variables. Sensory evaluation revealed differences ($P \leq 0.05$) in tenderness and juiciness. Meat from OEO12 was rated as more tender and juicier, whereas meat from OEO24 received the lowest scores for both attributes. In conclusion, supplementation of milk replacer with OEO did not compromise productive performance or health indicators in goat kids and produced responses comparable to those obtained with the antibiotic treatment. However, OEO inclusion influenced the yield of certain carcass cuts as well as specific physicochemical, textural, and compositional characteristics of the meat.

1. INTRODUCCIÓN

En México, la producción caprina orientada a la venta de leche y al aprovechamiento del cabrito como subproducto constituye uno de los sistemas de producción más utilizados (Lu y Miller, 2019). Los cabritos lactantes generalmente son criados hasta alcanzar un peso de 10 ± 2 kg, momento en el que son destinados al mercado de carne (Lu y Miller, 2019). Para optimizar los parámetros productivos, es común la utilización de diferentes aditivos alimenticios. Sin embargo, las restricciones asociadas al uso de antibióticos han impulsado la búsqueda de alternativas naturales capaces de mejorar el desempeño animal mediante la modulación de la actividad microbiana ruminal. Entre estas alternativas destacan los aceites esenciales (AE) obtenidos de plantas aromáticas, los cuales han sido propuestos como sustitutos potenciales de los antibióticos utilizados como moduladores de la microbiota ruminal. La planta *Lippia berlandieri* Schauer (orégano mexicano) representa una de las especies de mayor interés debido a que su aceite esencial (AEO) contiene compuestos bioactivos como timol, carvacrol y p-cimeno, responsables de gran parte de sus propiedades antimicrobianas y antifúngicas (Ávila-Sosa et al., 2010).

Diversos estudios realizados en cabras lecheras han documentado efectos favorables asociados al uso de AEO, incluyendo incrementos en la concentración sérica de calcio, el contenido de lactosa, proteína láctea y en la producción de leche, además de un decremento en la grasa de la leche y el pH ruminal (López Puga et al., 2021). Asimismo, Paraskevakis et al. (2015) reportaron mejoras en la capacidad antioxidante de los animales suplementados. Por otra parte, el efecto de distintos AE sobre el crecimiento de las crías también ha sido evaluado. El-Din et al. (2021) observaron un mayor peso en el destete de cabritos nacidos de cabras que fueron suplementadas con AE de tomillo, canela y menta, mientras que Smeti et al. (2015) reportaron resultados similares al utilizar aceite esencial (AE) de romero en la dieta materna. Aunque estos antecedentes sugieren que el AEO podría ejercer efectos similares sobre el crecimiento y desarrollo de los cabritos, la información disponible sobre su uso directo en cabritos lactantes sigue siendo limitada. La suplementación con aceites de orégano ha sido ampliamente estudiada en condiciones *in vitro*; sin embargo, los trabajos realizados en condiciones *in vivo*, particularmente durante la etapa de lactancia, continúan siendo

escasos (Colonna et al., 2023). En consecuencia, aún existe la necesidad de generar información que permita optimizar su aplicación en sistemas caprinos, desde la producción lechera hasta la crianza de los cabritos, así como establecer niveles de inclusión adecuados. Considerando los antecedentes descritos, se evaluó la suplementación de AEO a diferentes dosis en cabritos Alpino Francés con el propósito de determinar sus efectos sobre el desempeño productivo, la calidad de la carne e indicadores de salud.

2. ANTECEDENTES

México, es un país megadiverso, con una gran variedad de ecosistemas (Calderon-Aguilera et al., 2012). La producción ganadera ocurre en cuatro regiones principales: el Templado Norte, con precipitaciones generalmente bajas (árido y semiárido); el Templado Central, con zonas húmedas y secas; las Llanuras del Golfo (tropical húmedo), con precipitaciones más altas y variables; y el Pacífico Tropical (tropical seco), con precipitaciones más bajas (Murray-Tortarolo y Jaramillo, 2019). Esto, propicia encontrar diversas especies domésticas según la zona geográfica.


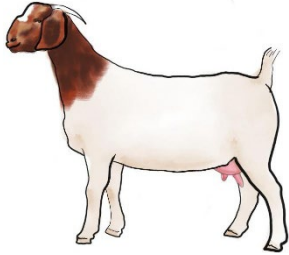
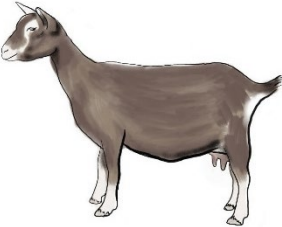
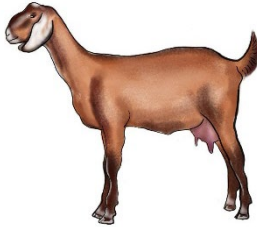
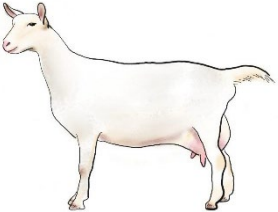
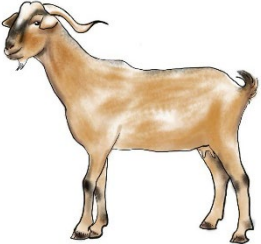
El cambio climático afecta a la población humana y ganadera en todo el mundo, especialmente a quienes viven en zonas áridas (Nair et al., 2021). Las cabras por su alta resiliencia térmica en condiciones de sequía se han considerado uno de los modelos más importantes para estudiar en zonas áridas y en los últimos años en zonas afectadas por el cambio climático, como en el Noreste Mexicano (Murray-Tortarolo y Jaramillo, 2019; Nair et al., 2021). Los productos de mayor relevancia económica obtenidos de esta especie son la carne y la leche, los cuales representan un ingreso económico para productores en zonas semiáridas y áridas en el norte, centro de México. Existen diferentes sistemas de producción caprina que varían de acuerdo con la región geográfica donde se desarrollan. Los principales sistemas son: producción de leche, producción de cabrito (normalmente como subproducto de la leche) o la producción de carne o “chivo cebado” (Lu y Miller, 2019). Debido a esto, en los diferentes sistemas de producción serán encontradas distintas razas lecheras.

2.1 Razas de cabras en México

Un alto porcentaje de las cabras presentes en el país se consideran “criollas”, ya que son descendientes del mestizaje entre las razas que los españoles trajeron a México durante el período de colonización (Montaldo et al., 2010). Actualmente, el país posee una variedad específica de razas caprinas empleadas en sistemas de producción lechera o cárnica. Las principales razas de cabras lecheras en México se enlistan en el Cuadro 1 como la Alpina, Saanen, Toggenburg y Nubia (Montaldo et al., 2010). En la producción de carne, se utilizan la raza Boer y nubia, esta última clasificada como doble propósito (Montaldo et al., 2010). También existe una cabra autóctona mexicana, mejor

conocida como cabra blanca pastoreña (Figura 1), cuyo origen se encuentra en la región Mixteca Oaxaqueña (Villarreal-Arellano et al., 2020), pero es raro encontrarlas en los sistemas productivos.

Cuadro 1. Principales razas caprinas en México según el fin productivo.

Razas caprinas en México*	
Leche	Carne
 Alpino Francés	 Boer
 Toggenburg	 Anglonubia o Nubia (doble propósito)
 Saanen	 Criolla

*Imágenes diseñadas por LDI. Frida Astrid López Puga.

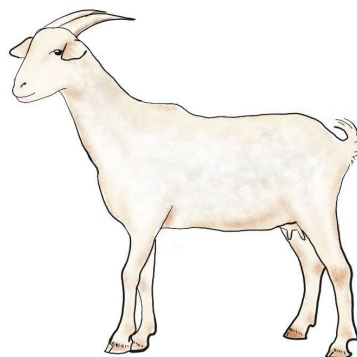






Figura 1. Cabra blanca pastoreña de Oaxaca, México.

El presente trabajo, fue centrado en el sistema productivo de cabrito y leche. En las siguientes secciones serán desglosadas sus principales características.

2.2 La raza Alpino Francés

La raza Alpino Francés es de las más presentes en los sistemas lecheros de México (Palomares-Reséndiz et al., 2021), por lo tanto, puede encontrarse la cría de cabrito de esta raza como subproducto de la industria lechera en las unidades de producción. Es originaria de Suiza y ha contribuido para la creación de otras razas caprinas. Han sido seleccionadas por su uniformidad, tamaño y alta producción de leche (Gurung y Solaiman, 2010). Son de pelo corto y no se ha establecido ningún color como estándar racial, aunque existen varios patrones de color bien definidos (Cantú-Brito, 2008) (Cuadro 2), de ellos, el patrón más común es el *Chamoisee* (Gurung y Solaiman, 2010).

Cuadro 2. Principales características de las diferentes variedades de color de la raza Alpino Francés.

Variedades de color de las cabras Alpino Francés*		
Denominación	Características	Fotografía
<i>Chamoisee</i>	Café o bayo: negro en la cara, franja dorsal, en la pierna y en los pies, cruz y parte alta del pecho.	
<i>Chamoisee de dos tonos</i>	Claro: en los miembros anteriores, con café o gris; en los miembros posteriores, no es un cuello blanco ni un cuello claro, y es un término reservado para animales con miembros posteriores negros.	
<i>Chamoisee moteado</i>	Cuando un <i>Chamoisee</i> aparece moteado. Ejemplo: si es blanco, <i>Chamoisee moteado blanco</i> .	
<i>Sundagau</i>	Negro, con distribución del blanco debajo del cuerpo, en el vientre y en la cara, a veces con franjas en la parte alta de la frente, inferior al hocico o en toda la cara.	

*Información de Cantú-Brito, 2011; Imágenes diseñadas por LDI. Frida Astrid López Puga

El peso en machos oscila entre 80 a 100 kg y la altura a la región de la cruz entre 75 y 100 cm, mientras que las hembras tienen un peso de 60 a 80 kg y una altura a la región de la cruz de 75 cm (Cantú-Brito, 2008). Las principales características productivas de las hembras Alpinas se resumen a continuación en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características productivas de las hembras Alpino Francés.

Característica	Descripción
Producción de leche	2.96 litros
Proteína en leche	3.06 %
Grasa en leche	3.6 %
Lactancia (días en leche)	305 días
Pico de lactancia	Día 45

(Cantú-Brito, 2008; Gurung y Solaiman, 2010)

La raza Alpino Francés, es una de las que tuvo mayor importación a México en los años 90, debido a su elevada producción de leche en las regiones semi-áridas del país (Silva et al., 1998). En la actualidad, esta raza es una de las más encontradas en el Noreste mexicano, encontrando ejemplares puros y cruza (Olivas-salazar et al., 2018). Tradicionalmente, la producción de leche y carne de cabrito en países del mediterráneo, así como en México, van de la mano (De Palo et al., 2015; Lu y Miller, 2019). En la siguiente sección se desglosan los datos sobre la producción de leche y de carne caprina a nivel mundial y nacional.

2.3 Panorama mundial de la producción caprina de leche y carne

En 2020, India fue el principal productor de leche de cabra del mundo, mientras que Sudán y Bangladesh ocuparon el segundo y el tercer lugar (Cuadro 4; FAOSTAT, 2026). Durante ese año, China fue el mayor productor de carne de origen caprino. India y Pakistán se ubicaron en segundo y tercer lugar. México obtuvo el lugar 27 en leche de cabra, mientras que en carne obtuvo el lugar 21.

Cuadro 4. Panorama productivo mundial de leche y de carne de origen caprino en 2020.

Lugar	Leche		Lugar	Carne	
	País	Producción ¹		País	Producción
1	India	5,888,077	1	China	4,613,880
2	Bangladesh	2,671,911	2	India	554,813
3	Sudán	1,165,043	3	Pakistán	504,000
4	Pakistán	965,000	4	Nigeria	261,108
5	Francia	679,300	5	Bangladesh	231,153
6	Turquía	554,143	6	Etiopía	147,741
7	España	523,900	7	Chad	132,296
8	Sudán del Sur	467,148	8	Mongolia	129,163
9	Nigeria	407,346	9	Sudán	121,008
10	Países Bajos	407,000	10	Birmania	115,444
27	México	163,590	21	México	40,001
	Otros	6,958,125		Otros	1,599,476
	Total	20,850,583		Total	8,450,083

¹ton: toneladas.

Fuente: FAOSTAT, 2026.

2.4 Panorama nacional de la producción caprina de leche y carne

En el Cuadro 5 se observa la producción de leche y de carne de cabra en México en 2021 (SIAP, 2026). Durante este año, el país produjo un total de 166,516.25 ton de leche caprina. Coahuila fue el estado con mayor producción; en segundo lugar, Guanajuato, y en tercer lugar, Durango. Por otro lado, un total de 40,478.92 ton de carne de caprino fueron producidas. Zacatecas produjo la mayor cantidad de carne; después, San Luis Potosí y, en tercer lugar, Coahuila.

Cuadro 5. Panorama productivo nacional de leche y carne de origen caprino del 2021.

Lugar	Leche		Lugar	Carne	
	Estado	Producción (ton) ¹		Estado	Producción (ton)
1	Coahuila	45,548.03	1	Zacatecas	4,398.96
2	Guanajuato	43,911.85	2	San Luis Potosí	4,384.67
3	Durango	24,785.51	3	Coahuila	3,952.93
4	Jalisco	9,753.37	4	Puebla	3,929.25
5	Chihuahua	7,649.62	5	Guerrero	3,702.19
6	Zacatecas	6,397.61	6	Oaxaca	3,691.44
7	San Luis Potosí	5,241.28	7	Michoacán	2,557.71
8	Nuevo León	4,484.27	8	Jalisco	2,037.73
9	Baja California Sur	4,238.31	9	Nuevo León	1,621.78
10	Michoacán	4,123.00	10	Tamaulipas	1,516.73
	Otros	10,383.40		Otros	8,685.53
	Total	166,516.25		Total	40,478.92

¹ton; Toneladas.

Fuente: SIAP, 2026.

2.5 Panorama estatal de producción de leche y carne caprina

En Nuevo León, el municipio de Galeana fue el mayor productor de leche, después Linares y Cerralvo (Cuadro 6; SIAP, 2026). Por otro lado, la principal forma de consumir carne de caprino en Nuevo León es el cabrito, que consiste en cabritos machos alimentados con leche materna hasta el destete (30 d); a esta edad, son sacrificados para su consumo (SIAP, 2016). El principal productor de carne de caprino fue Doctor Arroyo, enseguida Galeana y Aramberri. Existe un déficit de producción de 900,000 cabritos en el estado de Nuevo León, ya que el consumo (1,000,000 cabritos

anuales) supera al total producido (100,000 cabritos anuales) (Congreso del Estado de Nuevo León, 2021).

Cuadro 6. Panorama productivo por municipio en 2021 del estado de Nuevo León.

Lugar	Leche		Lugar	Carne	
	Municipio	Producción (ton) ¹		Municipio	Producción (ton)
1	Galeana	494.67	1	Doctor Arroyo	278.61
2	Linares	377.94	2	Galeana	255.31
3	Cerralvo	348.12	3	Aramberri	167.11
4	Salinas Victoria	236.5	4	Linares	121.29
5	Agualeguas	227.1	5	General Zaragoza	100.15
6	Doctor Arroyo	213.37	6	Hualahuises	94.45
7	Rayones	192.18	7	General Terán	87.33
8	Doctor González	189.75	8	Mier y Noriega	81.93
9	Mina	174.05	9	Iturbide	54.93
10	General Terán	169.99	10	Cadereyta Jiménez	40.77
	Otros	1,860.61		Otros	339.89
	Total	4,484.28		Total	1,621.77

¹Ton; Toneladas.

Fuente: SIAP, 2026.

2.6 Fisiología digestiva de pre-rumiantes

Los compartimentos pre-gástricos (rumen, retículo y omaso), no se desarrollan completamente ni asumen sus funciones digestivas características hasta que el pre-rumiante empieza a consumir alimento sólido. Cuando los pre-rumiantes ingieren líquidos, estos pasan por el reticulorumen a través del omaso, hacia el abomaso como resultado del reflejo del surco esofágico (gotera esofágica), es decir, sin pasar por el

rumen, entran directamente al abomaso para su digestión (Porter, 1969; Wang et al., 2022). Esta estructura fisiológica especial hace que el intestino delgado sea la parte central de la absorción y utilización de nutrientes (Figura 2). Históricamente, ha sido descrito que posterior a este proceso, a partir del abomaso es muy similar a la del estómago y los intestinos de los animales no-rumiantes (Porter, 1969).

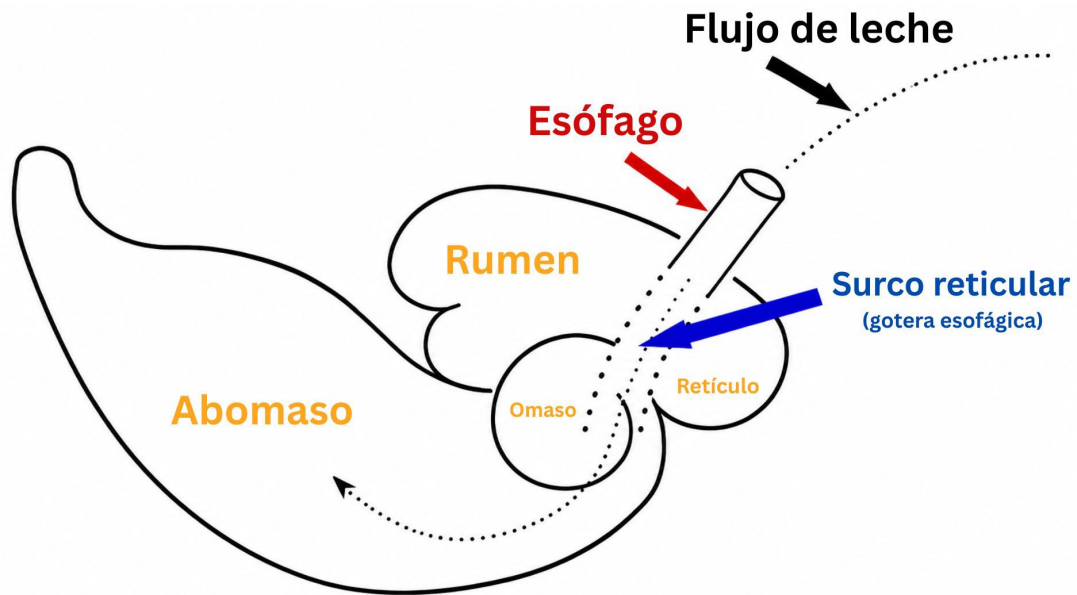


Figura 2. Paso de líquidos a través del tracto digestivo del pre-rumiante. La línea punteada indica el flujo de la leche (señalizado por la flecha negra) al ingresar hacia el rumen, pasando por el esófago (flecha roja), posteriormente pasa a través del surco reticular (flecha azul) hacia el omaso y abomaso para la digestión. Fuente: Imagen adaptada de University of Minnesota Libraries (2015).

2.7 Lactancia artificial en la producción lechera y sustitutos de leche

En los sistemas de producción de carne, ya sea extensivo (pastoreo) o intensivo (corral), se espera el uso de la leche materna como forma de alimentación de los cabritos (De Palo et al., 2015). En los sistemas de lactancia materna, se permite a las madres amamantar a sus cabritos ya sea las 24 horas del día o sólo durante unas pocas horas al día (Zamuner et al., 2023). No obstante, esta situación difiere de los sistemas de producción lechera, ya que la función principal de las cabras es la producción láctea; por ello, el destete temprano es importante para aumentar la rentabilidad de la producción mediante la venta de leche, y la lactancia artificial está muy ligada a las unidades especializadas en producir leche (De Palo et al., 2015). En los sistemas de lactancia artificial, los cabritos son separados de sus madres entre 1 y 3 días después

del nacimiento y se alimentan de forma artificial hasta el destete (Zamuner et al., 2023). Por este motivo, reemplazar la leche materna por un sustituto lácteo ha sido de gran interés en bovinos y en pequeños rumiantes (Kertz et al., 2017) como alternativa a la alimentación. Los estudios para desarrollar los sustitutos de leche modernos comenzaron en 1974 (Kertz et al., 2017). Desde entonces, se han desarrollado estudios para lograr la homogeneización de las fuentes de grasas, suplementación de vitaminas y minerales, identificación de ingredientes con alta digestibilidad, inclusión de ingredientes vegetales; en la actualidad, continúan intentando reemplazar las proteínas de la leche en las formulaciones de sustitutos lácteos para acercarse lo más posible a la composición y asimilación de la leche materna (Kertz et al., 2017). En el mercado actual, ya es posible encontrar diferentes sustitutos de leche que se ajustan a las necesidades nutricionales de cabritos en crecimiento y que ayudan a sustituir la leche materna. Se han reportado beneficios en experimentos con animales con sustitutos de leche, como el aumento de la inmunidad, la reducción de la respuesta al estrés y un buen desarrollo intestinal (Wang et al., 2022). La industria lechera bovina ha preferido utilizar sustitutos de leche en animales jóvenes, sobre todo en el período de transición de la etapa lactante a la etapa rumiante, en conjunto con iniciadores para estimular la maduración ruminal (Dennis et al., 2019). Esto también se realiza en caprinos que serán utilizados para reemplazo, sementales o pie de cría. Sin embargo, en animales destinados a la producción de “cabrito”, tradicionalmente, son alimentados únicamente con leche hasta alcanzar un peso de aproximadamente 10 ± 2 kg (Lu y Miller, 2019).

2.8 Antibióticos en los sustitutos de leche

Las pérdidas de cabritos durante el periodo previo al destete continúan siendo una de las principales áreas de oportunidad en los sistemas de producción lechera, debido a sus repercusiones sobre el bienestar animal y la rentabilidad de las unidades de producción (Zamuner et al., 2023). La supervivencia de los animales en esta etapa depende de factores diversos, por ejemplo, una adecuada transferencia de inmunidad pasiva mediante el consumo de calostro, concentraciones suficientes de inmunoglobulina G (IgG) y un peso de 3.0 y 4.5 kg al nacimiento. Los cabritos con mayor peso corporal disponen de mayores reservas energéticas, lo que favorece su

capacidad de termorregulación y aumenta sus probabilidades de supervivencia (Zamuner et al., 2023). Además de estos factores individuales, las condiciones de manejo pueden incrementar el riesgo de enfermedad y mortalidad. La crianza en grupos numerosos favorece la transmisión de agentes patógenos y dificulta la detección temprana de animales enfermos, particularmente en casos de enfermedades subclínicas (Zamuner et al., 2023). Como consecuencia, en muchas explotaciones se ha recurrido al uso preventivo de antibióticos en animales aparentemente sanos, ya sea mediante su incorporación en sustitutos lácteos o por administración parenteral, con el objetivo de disminuir la incidencia de trastornos respiratorios y digestivos. Sin embargo, los antibióticos empleados suelen ser de amplio espectro y actúan de manera poco específica sobre la microbiota y los microorganismos presentes (Zamuner et al., 2023). Desde la perspectiva médica y sanitaria, se recomienda que el empleo de antibióticos esté sustentado en la identificación del agente causal y en pruebas de sensibilidad antimicrobiana. Sin embargo, la aplicación de estas prácticas en ya en la práctica y en sistemas intensivos, esto resulta complicado por a las características operativas de estos sistemas de producción (Zamuner et al., 2023). En México, el uso de antibióticos regulados en alimentos destinados a animales está permitido bajo los lineamientos específicos establecidos por la normatividad vigente (NOM-040-ZOO-1995). Entre los requisitos establecidos se encuentra el cumplimiento de un periodo de retiro previo al sacrificio para minimizar la presencia de residuos farmacológicos tanto en leche como en carne. Asimismo, los productos deben identificarse como “alimento medicado”, especificar la dosis de inclusión y contar con el registro correspondiente emitido por la Secretaría de Agricultura. Entre los antibióticos empleados en sustitutos lácteos, la neomicina destaca como una de las alternativas más utilizadas para prevenir y tratar cuadros diarreicos asociados a *Escherichia coli* en becerros (Bampidis et al., 2006).

2.9 Alternativas a los antibióticos en la producción animal

Los antimicrobianos son utilizados para la profilaxis y control de procesos infecciosos, además como promotores del crecimiento en la producción animal desde hace varias décadas, no obstante, su uso intensivo ha contribuido al desarrollo y propagación de la resistencia antimicrobiana a nivel mundial, generando preocupación tanto en el ámbito

veterinario como en la salud pública (Stoica y Cox, 2021). Como respuesta a esta problemática, numerosos países han implementado regulaciones orientadas a restringir o eliminar el empleo de antimicrobianos que se utilizan como promotores de crecimiento en diversas especies animales utilizadas para el consumo humano, lo que ha impulsado la búsqueda de estrategias que permitan mantener la productividad, la salud y el bienestar animal (Stoica y Cox, 2019). Dentro de las alternativas propuestas destacan el uso de AE y/o sus componentes bioactivos, además de la utilización de probióticos, prebióticos, bacteriófagos y otras herramientas dirigidas a modular la microbiota intestinal y mejorar la salud animal (Evangelista et al., 2022). Dentro de este grupo, los AE se han destacado por el interés que tiene su potencial para disminuir la dependencia a los antibióticos en los diferentes esquemas de producción animal (Evangelista et al., 2022). Los AE obtenidos de diversas especies vegetales varían en los compuestos presentes en la planta, influenciados por las condiciones de cultivo, procesamiento y concentración de sus compuestos activos (Evangelista et al., 2022). Aunque existe una amplia cantidad de investigaciones *in vitro* que evalúan la actividad de estos compuestos frente a diversos microorganismos, una proporción limitada de dichos estudios emplea aislados bacterianos procedentes de animales de producción. Asimismo, los estudios realizados en condiciones *in vivo* continúan siendo relativamente escasos, lo que restringe la aplicación de resultados a otras condiciones experimentales y escenarios productivos reales (Evangelista et al., 2022). Entre los compuestos más estudiados se encuentran el cinamaldehído y el carvacrol, los cuales han demostrado una importante actividad antimicrobiana y efectos favorables sobre características sensoriales. Estos compuestos pueden actuar de forma individual o en combinación con otros agentes antimicrobianos, potenciando su efecto biológico (Evangelista et al., 2022).

2.10 Aceites esenciales de plantas aromáticas en México

México alberga una gran variedad de especies vegetales con propiedades aromáticas empleadas tanto con fines medicinales como culinarios. A partir de estas plantas es posible obtener AE con diversas aplicaciones en la industria farmacéutica, alimentaria y pecuaria. Entre las principales especies cultivadas o aprovechadas en el país se

encuentran la albahaca, el anís, la chía, el comino, el eneldo, la jamaica, el jengibre, la manzanilla, la mejorana, la menta, el orégano, el romero, la salvia, el tarragón y el tomillo (Cuadro 7) (SIAP, 2026). Algunas de estas especies han despertado interés debido a la presencia de principios bioactivos con potencial antimicrobiano, antioxidante y promotor de la salud animal.

Cuadro 7. Producción nacional de plantas aromáticas con potencial para la obtención de aceites esenciales durante 2021.

Lu gar	Planta/E specia	Producción (Ton) ¹	Estados productores ²
1	Jamaica	8,617.29	Sinaloa, Puebla, Oaxaca, Nayarit, Michoacán, México, Jalisco, Guerrero y Campeche
2	Chía	4,771.04	Sonora, Sinaloa, Puebla, Michoacán y Jalisco
3	Jengibre	4,444.33	Puebla, Oaxaca y Guerrero
4	Albahaca	2,891.04	Puebla, Nayarit, Morelos, Guerrero, B.C.S. y B.C.
5	Manzanilla	1,901.26	S.L.P., Puebla, Morelos, México y Durango
6	Eneldo	705.33	Sonora, B.C.S. y B.C.
7	Menta	453.25	S.L.P., Puebla, B.C.S. y B.C.
8	Romero	368.46	S.L.P., México, B.C.S. y B.C.
9	Salvia	248.21	S.L.P., Puebla, B.C.S. y B.C.
10	Anís	176.06	Guanajuato y B.C.
11	Tomillo	155.25	S.L.P., Puebla, B.C.S. y B.C.
12	Mejorana	138.49	S.L.P., México, B.C.S. y B.C.
13	Orégano	89.91	S.L.P., México, B.C.S. y B.C.
14	Taragón	62.12	S.L.P., B.C.S. y B.C.
15	Comino	33.3	Guanajuato y Durango
	Otros	780.84	Morelos y B.C.
Total		25,836.18	

¹Ton: toneladas.

² S.L.P.: San Luis Potosí; B.C.S.: Baja California Sur; B.C.: Baja California.

Fuente: SIAP, 2026.

2.11 *Aceite esencial de orégano mexicano*

La mayoría de los datos existentes acerca del orégano deriva de estudios científicos realizados con *Origanum vulgare*, especie ampliamente distribuida en la región mediterránea. No obstante, el término orégano engloba más de 40 especies de plantas herbáceas que comparten características aromáticas particulares asociadas principalmente a la presencia de timol y carvacrol (Ávila-Sosa et al., 2010). Entre estas especies se encuentra el *Lippia berlandieri* Schauer o *Lippia graveolens* HBK (orégano mexicano), caracterizado por un sabor muy intenso y mayor contenido de AE comparado con otras especies (Ávila-Sosa et al., 2010). Asimismo, su AE suele contener concentraciones más elevadas de carvacrol que las reportadas para el orégano europeo, condición que contribuye a diferencias en su perfil aromático y en algunas de sus propiedades biológicas (Ávila-Sosa et al., 2010). Las propiedades antimicrobianas atribuidas a este aceite están relacionadas con los compuestos monoterpénicos, entre los que destacan el carvacrol, el timol, el p-cimeno y el γ -terpineno, considerados responsables de gran parte de su actividad biológica frente a diversos microorganismos (Ávila-Sosa et al., 2010).

2.12 *Mecanismo de acción del AEO*

La acción antimicrobiana del AEO ha sido ampliamente documentada frente a diferentes especies bacterianas. Diversos estudios han descrito sus efectos sobre distintos microorganismos (Oussalah et al., 2006; Cui et al., 2019 y Wang et al., 2022). Los mecanismos mediante los cuales el AEO ejerce su acción antimicrobiana pueden variar según las características fisiológicas y estructurales de cada microorganismo. En el marco de la presente investigación, el interés principal radica en su viabilidad como opción alternativa o sustituto de antibióticos convencionales utilizados en la producción de cabritos, particularmente oxitetraciclina y neomicina, empleados para disminuir las pérdidas asociadas a enfermedades bacterianas. Entre las patologías de mayor relevancia en los sistemas de producción caprina se encuentran aquellas ocasionadas por bacterias oportunistas. Destaca la colibacilosis, causada por *Escherichia coli*, así como el complejo respiratorio infeccioso, en el que participan diferentes agentes bacterianos, entre ellos *Mannheimia haemolytica*, *Mycoplasma spp.*

y *Pasteurella multocida* (Palomares-Reséndiz et al., 2021). Debido a que la evidencia científica disponible es más abundante para *E. coli* que para otros microorganismos de importancia zootécnica, en este apartado se abordará principalmente el mecanismo de acción antimicrobiano del AEO frente a esta bacteria.

2.12.1 Mecanismo de acción contra Escherichia coli

Diversos estudios han demostrado que el AEO posee una marcada actividad antimicrobiana contra *Escherichia coli* mediante causando alteraciones en la función y estructura íntegra de la membrana celular. Oussalah et al. (2006) reportaron un incremento en la permeabilidad de la cepa O157 EDL 933 de *E. Coli* cuando se añadió AEO español (*Corydothymus capitatus*), favoreciendo la liberación de componentes intracelulares, la disminución de las concentraciones de ATP y la reducción del pH intracelular. La afectación estructural de la envoltura celular también ha sido documentada mediante microscopía electrónica de barrido. Rhayour et al. (2003) observaron la presencia de perforaciones y daños en la superficie celular de *E. coli* tras la exposición al AEO y a algunos de sus principios activos como timol y eugenol. Estos hallazgos concuerdan con los resultados obtenidos por Li et al. (2022), los cuales describen que la exposición de *E. coli* al AEO durante seis horas incrementó entre 9.75 las concentraciones extracelulares de ácidos nucleicos y 6.42 veces las de proteínas, lo que evidencia una alteración en integridad de la membrana celular. Adicionalmente, Li et al. (2022) reportaron un aumento en la intensidad de fluorescencia asociada a la membrana, indicador de una alteración en el potencial transmembranal. De manera simultánea, se registró una mayor generación de especies reactivas de oxígeno a nivel intracelular en *E. coli*. O157. En conjunto, estos resultados sugieren un efecto bactericida por parte del AEO al desestabilizar la estructura celular, permeabilizar membranas, alterar el potencial de membrana e inducir el estrés oxidativo.

2.12.2 Otros mecanismos de acción

Otros mecanismos de acción del AEO frente a diversas especies bacterianas se describen en el Cuadro 8 y han sido descritos por Lambert et al. (2001), Oussalah et al. (2006), Cui et al. (2019) y Wang et al. (2022).

Cuadro 8. Evidencia reportada sobre los mecanismos de acción del AEO frente a distintas bacterias.

Variedad	Bacteria	Mecanismo de acción	Autor
AEO obtenido de Yuanye Biotechnology (64.86 % Carvacrol)	<i>Staphylococcus aureus</i> resistente a la meticilina	Daña la membrana celular, provocando la salida de macromoléculas biológicas. Inhibe el ciclo de Krebs, sus enzimas principales y los metabolitos. Además, el carvacrol se asocia con el ADN en dosis altas, y reduce la expresión del gen pvl.	(Cui et al., 2019)
AEO de la marca comercial doTERRA (71.45% caracrol)	<i>Morganella psychrotolerans</i>	El análisis metabolómico mostró que los metabolitos alterados tras el tratamiento con AEO participan en el metabolismo de carbohidratos, aminoácidos, cofactores y vitaminas, nucleótidos, lípidos y energía. Se confirmó que el mecanismo inhibitor está vinculado a membranas celulares dañadas, disminución del contenido de ATP intracelular, fuga de proteínas y vías metabólicas desorganizadas.	(Wang et al., 2022)
AEO de la planta <i>Corydothymus capitatus</i>	<i>Listeria monocytogenes</i>	Los resultados indican que la membrana citoplasmática participa en la acción tóxica de los AE.	(Oussalah et al., 2006)
Timol y carvacrol obtenido de Sigma-Aldrich y AEO de la universidad de Atenas.	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 2730)	Alteración de homeostasis de pH y equilibrio iónico producida por el daño de la membrana celular.	(Lambert et al., 2001)

2.13 Impacto del AEO en pre-rumiantes

La diarrea neonatal representa uno de los principales problemas sanitarios durante las primeras etapas de vida de los pre-rumiantes. En becerros, esta enfermedad constituye la causa más frecuente de mortalidad y genera pérdidas económicas significativas para los sistemas de producción (Katsoulos et al., 2017). Una situación similar se presenta en los cabritos, donde los trastornos entéricos comprometen la supervivencia y el desempeño de los animales. Katsoulos et al. (2017) señalaron que, independientemente

del agente etiológico involucrado, los episodios de diarrea suelen estar asociados a una alteración en intestino delgado dado por un incremento en la población de *Escherichia coli*. Este mismo autor, propone al AEO por sus propiedades antimicrobianas como una estrategia alternativa al empleo de antibióticos para reducir la incidencia de estas enfermedades. Katsoulos et al. (2017) concluye en su estudio que el AEO, así como el carvacrol y timol, tienen una actividad antimicrobiana marcada frente a bacterias gramnegativas, particularmente contra *E. coli*.

La respuesta a este tipo de aditivos puede diferir entre animales jóvenes y rumiantes adultos debido a las particularidades fisiológicas de su sistema gastrointestinal. Durante la etapa pre-rumiante, la actividad fermentativa del rumen aún no está completamente desarrollada, por lo que la leche es dirigida directamente al abomaso y posteriormente al intestino delgado, donde ocurre gran parte de su digestión y de la absorción de nutrientes. Como consecuencia, los efectos del AEO se manifiestan principalmente a nivel de las comunidades microbianas intestinales. Aunque la información disponible en cabritos lactantes continúa siendo limitada, diversos estudios realizados en pre-rumiantes, principalmente en becerros, han evaluado los cambios inducidos por este AE sobre la microbiota intestinal como los elaborados por Bampidis et al. (2006), Katsoulos et al. (2017) y Ozkaya et al. (2018) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Resumen de estudios sobre el efecto del AEO en las comunidades de bacterias intestinales de pre-rumiantes.

Especie de planta	Parte de la planta ¹	Dosis	<i>In vivo</i> o <i>In vitro</i>	Especie animal	Dieta o sustrato	Efectos	Referencia
Orégano Griego <i>Origanum vulgare ssp. hirtum</i>	AE	12.5 mg/kg al día	<i>In vivo</i>	Becerras Holstein (hembras y machos)	Leche materna y calostro, seguidos por sustituto de leche e iniciador.	Sin diferencia estadística significativa en poblaciones bacterianas; sin embargo, hubo reducción significativa en la diarrea.	(Katsoulos et al., 2017)
<i>Origanum vulgare ssp. hirtum</i>	AE	10 mg/kg al día	<i>In vivo</i>	Becerras Holstein	Leche materna	Inhibió el crecimiento de varios patógenos gramnegativos, entre ellos <i>E. coli</i> .	(Bampidis et al., 2006)
<i>Origanum onite L.</i>	Extracto de agua de orégano	1, 1.5 y 2% de agua de orégano	<i>In vivo</i>	Becerras Holstein	Sustituto de leche y heno de alfalfa	Redujo el número de patógenos <i>E. coli</i> , coliformes y enterobacterias, aunque solo la cantidad de enterobacterias disminuyó de forma significativa.	(Ozkaya et al., 2018)

¹ AE: Aceite esencial

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Algunos antibióticos se han utilizado como profilácticos en la producción animal; sin embargo, el mercado actual exige alternativas naturales para enfrentar diversas problemáticas sanitarias como la resistencia antimicrobiana. Los aceites esenciales poseen potencial como alternativa a los antibióticos y contienen compuestos fenólicos que podrían mejorar los productos cárnicos. Aunque estos compuestos han sido evaluados principalmente en animales no-rumiantes, podrían tener efectos en cabritos lactantes por la similitud del sistema digestivo pre-rumiante, Además, pocos estudios han abordado el uso de AEO en la producción caprina cárnica o enfocada en el consumo de cabrito lactante. Por lo tanto, este trabajo aportará información para entender mejor cómo el AEO afecta a los cabritos, como subproducto de la industria lechera, utilizando AEO (*Lippia berlandieri* Schauer) como una opción natural para reemplazar a los antibióticos convencionales.

4. HIPÓTESIS

La inclusión de AEO como alternativa a los antibióticos en el sustituto lácteo será igual o mejor sobre el desempeño productivo, salud y calidad de la carne de cabritos Alpino francés.

5. OBJETIVOS

5.1 *Objetivo general*

Evaluar el efecto de diferentes dosis de AEO para reemplazar antibióticos en las variables de desempeño productivo y calidad de la carne de cabritos.

5.1.1 *Objetivos específicos*

1. Evaluar los parámetros productivos de los cabritos alimentados con un sustituto de leche suplementado con AEO (consumo de materia seca, peso final, ganancia diaria de peso, eficiencia productiva y conversión alimenticia).
2. Evaluar el AEO añadido al sustituto de leche en los parámetros de crecimiento de cabritos Alpino Francés (altura a la región de la cruz (AC), circunferencia torácica (CT), longitud de fémur (LF) y longitud de húmero (LH)).
3. Evaluar los efectos de la inclusión de AEO en el sustituto lácteo sobre los parámetros sanguíneos de cabritos Alpino Francés (biometría hemática y química sanguínea).
4. Evaluar la capacidad y fenoles totales del AEO y suero sanguíneo de cabritos Alpino Francés suplementados con AEO en el sustituto lácteo.
5. Evaluar las variables de sacrificio de cabritos y rendimiento de canal Alpino Francés suplementados con AEO en el sustituto lácteo (peso al sacrificio (PS), peso de canal caliente (PCC), peso de canal fría (PCF), despiece y peso de vísceras).
6. Evaluar el análisis bromatológico del músculo *Longissimus dorsi* de cabritos Alpino Francés suplementados con AEO en un sustituto lácteo (humedad, ceniza, grasa cruda (GC), proteína cruda (PC) y extracto libre de nitrógeno (ELN)).
7. Evaluar las variables fisicoquímicas de la carne de cabritos Alpino Francés suplementados con AEO (potencial de hidrógeno (pH), color rojo (a*), color

amarillo (b^*), luminosidad (L^*), Chroma (saturación), Hue (tonalidad) y capacidad de retención de agua (CRA).

8. Evaluar el perfil de textura, la fuerza de corte (FC) y la pérdida por cocción (PPC) de la carne de cabritos Alpino Francés suplementados con AEO (dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia).
9. Analizar sensorialmente la carne de cabritos Alpino Francés suplementados con AEO mediante una prueba de consumidor por atributos (olor, sabor, jugosidad y aceptabilidad global).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Ubicación y tiempo de experimentación

Las actividades experimentales se realizaron en las instalaciones de la Facultad de Agronomía (FA), Unidad Marín. El municipio de Marín se localiza a una altitud de 393 m.s.n.m. en las coordenadas 25°51'38"N 100°00'50"O y se registran una temperatura media anual de 26.9 °C y una precipitación de 1697 mm (INEGI, 2022). Los análisis de calidad de la carne se llevaron a cabo en el Centro de Investigación y Desarrollo en Industrias Alimentarias (CIDIA) de la Facultad de Agronomía, UANL (General Escobedo, Nuevo León, México). El cuidado y trato de las cabras y cabritos durante la investigación fue ejecutado tomando como referencia a la NOM-062-ZOO (1999).

6.2 Evaluación de cabritos

6.2.1 Diseño experimental

Un total de 18 cabritos Alpino Francés de dos semanas de edad fueron utilizados en este experimento, obtenidos de la producción caprina lechera “Agrícola La Gloria”, ubicada en Allende, Nuevo León, México (Figura 3). Los cabritos fueron alimentados con un sustituto lácteo (LactoPlex® 24:20, MNA de México S.A. de C.V.) (Figura 4), acoplado a las necesidades nutricionales para cabritos en crecimiento (NRC, 2007; Cuadro 5). Los cabritos fueron asignados a tres corrales de 2.00 m de largo x 2.40 m de ancho x 2.00 m de alto, equipados con bebedero y aserrín como material de cama (Figura 5), bajo un diseño experimental de bloques completos al azar (6 cabritos/Bloque = 2 cabritos de cada tratamiento/ bloque). El sustituto lácteo (200 g de sólidos totales (ST)/L) fue preparado media hora antes de comenzar la alimentación, dos veces al día, a las 8 am y a las 4 pm, cuidando la temperatura del sustituto lácteo a 37°C. Los tratamientos consistieron en: CON, sustituto lácteo medicado (20 mg oxitetraciclina y 40 mg neomicina/200 g de ST); AEO12, sustituto lácteo + 12 mg AEO/200 g de ST; y AEO24, sustituto lácteo + 24 mg AEO/200 g de ST. La composición del AEO utilizado fue de 65.20% de carvacrol, 10.99% de p-Cymeno, 10.26% de timol, y el resto otros compuestos menores (Figura 6). Los tratamientos fueron agregados al sustituto en el momento de la preparación. Una mezcla fue realizada con Tween80 y AEO en proporción 1:1. Luego, esta mezcla fue pesada y distribuida en viales de microcentrifugación no estériles (Eppendorf, Oldemburgo,

Alemania), con la dosis diaria a utilizar, utilizando una micropipeta Mline (Sartorius, Gotinga, Alemania), realizando tres lavados en el vial utilizado para evitar dejar residuos de AEO (Figura 7). Cada cabrito fue alimentado de forma individual, utilizando una botella comercial de 2 L con una mamila suave de silicona para lactancia artificial de rumiantes (Hffheer) (Figura 8). Una vez elaborado el sustituto con los tratamientos, una muestra de cada uno fue analizada en el laboratorio para evaluar el análisis bromatológico, siguiendo los procedimientos de la AOAC (2016) (Figura 9; Cuadro 10).

Cuadro 10. Composición del sustituto lácteo (Lactoplex VE 24:20) con los tratamientos adicionados.

Componente (%MS)	Tratamientos		
	CON	AEO12	AEO24
Humedad	84.17	82.97	81.46
MS	15.83	17.03	18.54
PC	22.34	21.71	23.91
GC	6.61	10.56	8.88
Ceniza	7.92	7.85	7.51
ELN	47.30	42.83	41.15

¹ Materia seca (MS); Proteína cruda (PC); Grasa cruda (GC); Extracto libre de nitrógeno (ELN).

6.2.2 Desempeño productivo

El desempeño productivo de los cabritos fue medido durante tres semanas, con muestreos semanales en los días 7, 14 y 21 (Figura 10). El peso inicial de los cabritos fue determinado a cada uno para considerarlo como covariable en el análisis de datos. El consumo diario de alimento se estimó restando la diferencia de la cantidad ofrecida y la rechazada del sustituto lácteo diario, ofrecido a las 8:00 AM y 4:00 PM (Figura 11). A partir de estos datos, las variables calculadas fueron el peso final, CMS (consumo \times %MS), GDP $[(\text{peso final} - \text{peso inicial}) / \text{días de alimentación}]$, conversión (CMS / GDP) y eficiencia alimenticia (GDP / CMS).

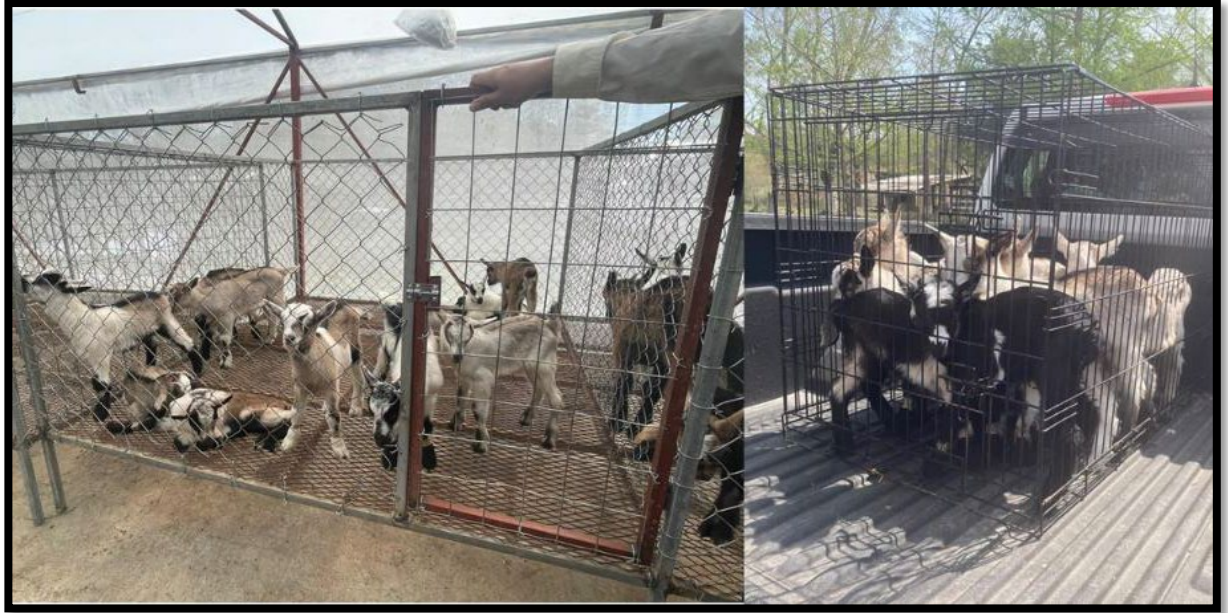


Figura 3. Cabritos Alpino Francés obtenidos de la explotación caprina “Agrícola La Gloria”, en Allende, Nuevo León, México.



Figura 4. Sustituto de leche LactoplexVE 24:20

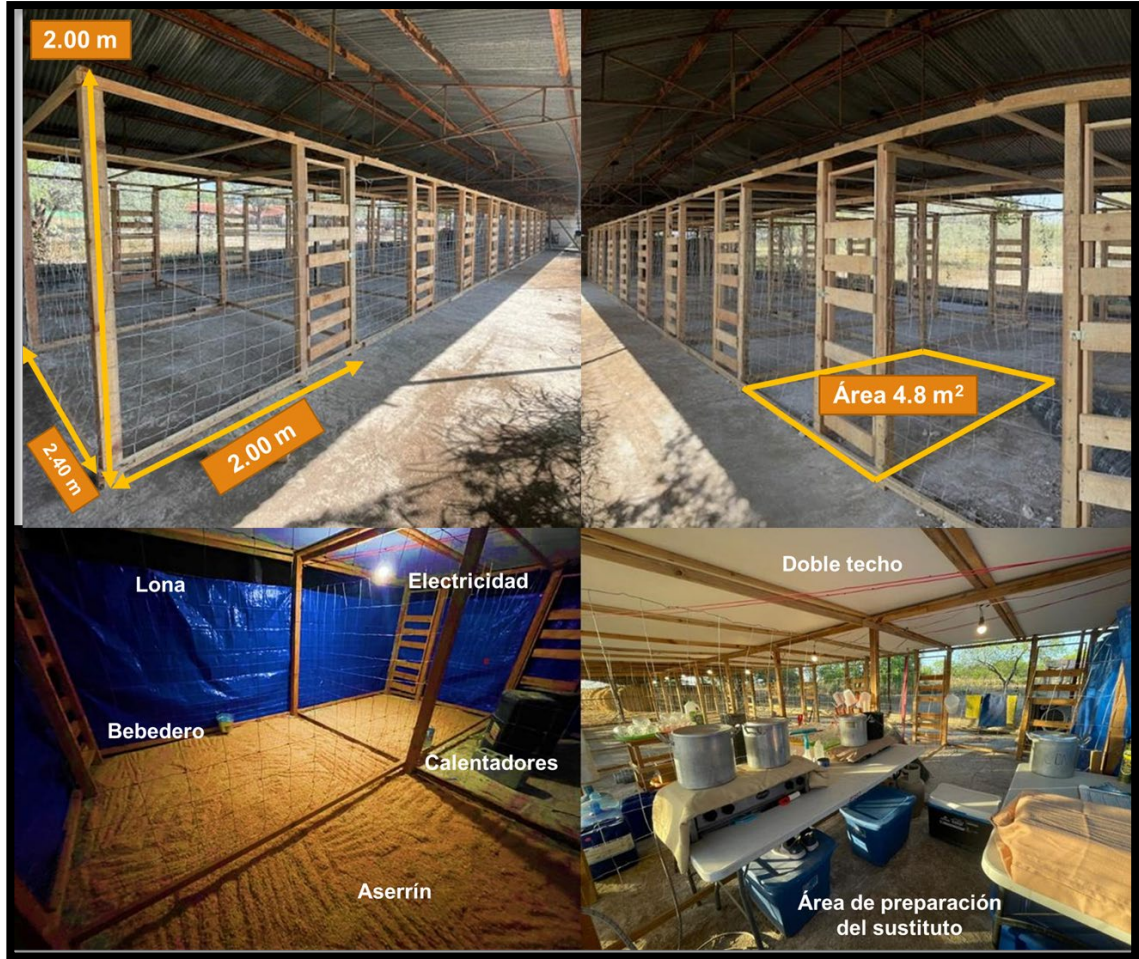


Figura 5. Medidas de corrales y acondicionamiento del área experimental



Figura 6. AEO utilizado en los tratamientos experimentales

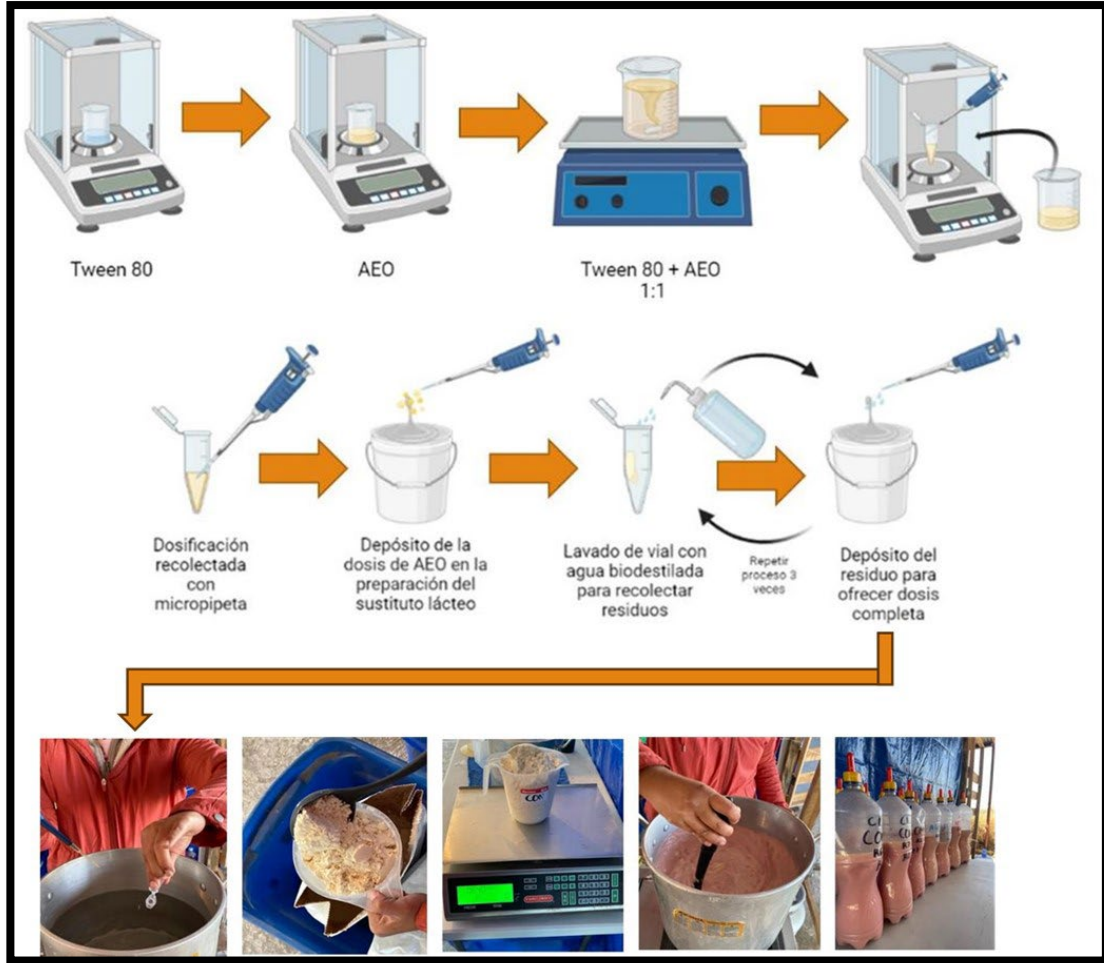


Figura 7. Adición de los tratamientos experimentales al sustituto lácteo.



Figura 8. Biberones con mamila de silicona especiales para rumiantes.



Figura 9. Análisis bromatológico del sustituto lácteo



Figura 10. Pesaje de los cabritos en un corte experimental



Figura 11. Metodología durante 21 días para la alimentación y consumo diario de sustituto lácteo de los cabritos

6.2.3 Crecimiento

Además del peso, también fueron medidas las variables morfológicas para evaluar el crecimiento de los cabritos. Fue utilizada una cinta métrica corporal para medir las siguientes variables: AC, CT, LF y LH. Estas variables fueron medidas con el sistema métrico decimal (cm) durante 3 semanas, realizando mediciones semanales los días 7, 14 y 21 (Figura 12). Una medición inicial en el día 0 fue tomada en cuenta como covariable, al igual que el peso inicial. A las 3 semanas, los cabritos fueron sacrificados para consumo siguiendo los lineamientos de la NOM-033-SAG/ZOO (2014).



Figura 12. Mediciones corporales con cinta métrica del crecimiento semanal de los cabritos.

6.2.4 Parámetros sanguíneos

En el día 22, antes del sacrificio, se colectó sangre en tubos con y sin EDTA a partir de la vena yugular (ver Figura 13) en los cabritos para realizar una biometría hemática (BH) y química sanguínea (QS). La QS se realizó por espectrofotometría con un sistema automatizado de análisis bioquímico (Miura 200, ISE SRL, Roma, Italia) para descartar

daños hepáticos o renales por los tratamientos. Además, las variables hematológicas se determinaron mediante citometría de flujo mediante un analizador hematológico automático (KX 21N, Sysmex, Kobe, Japón), con el fin de descartar alteraciones o efectos no deseados en los parámetros eritrocitarios y leucocitarios.



Figura 13. Recolección de muestras de sangre a través de venopunción en la yugular.

6.2.5 Capacidad antioxidante y fenoles totales en suero

La capacidad antioxidante del suero sanguíneo fue evaluada mediante la prueba ABTS (ácido 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)), siguiendo la metodología de Re et al. (1999) y mediante la prueba FRAP (capacidad férrica reductora del plasma), según Montiel-Aguilar et al. (2022). Además, se determinó la presencia de compuestos fenólicos totales mediante la metodología de Kim et al. (2003), mediante espectrofotometría con el reactivo de Folin-Ciocalteu. Todos los análisis fueron realizados por duplicado.

6.2.6 Variables de sacrificio

El tratamiento medicado fue reemplazado por un sustituto lácteo sin AEO ni antibiótico 5 días antes del sacrificio, para cumplir con el tiempo de retiro para el consumo de las canales. Posteriormente, el sacrificio de los cabritos fue llevado a cabo el día 22, siguiendo las especificaciones conforme a la NOM-033-SAG/ZOO-2014 mediante el aturdimiento mecánico (Figura 14).

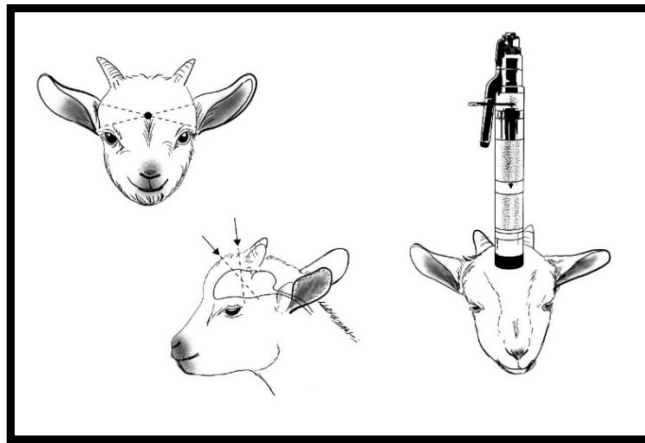


Figura 14. Imagen adaptada de la NOM-033-SAG/ZOO-2014 sobre la representación gráfica del aturdimiento mecánico en cabritos.

Los cabritos fueron sacrificados en dos bloques según el día de llegada, donde la nueve fueron sacrificados en el primer bloque (B1) y la otra mitad (los otros 9) en el segundo bloque (B2). El peso al sacrificio (PS) (kg) fue tomado previo al aturdimiento mecánico de cada cabrito utilizando una báscula digital de recibo 0PCB100 (Torrey, Monterrey, NL, México). De manera post mortem, fue tomado el peso de la canal caliente (PCC). Una vez

medido el PCC, las canales fueron colocadas en un tanque con hielo abundante para su transporte y almacenamiento en refrigeración a 4 ± 1 °C en el cuarto frío del Centro de Investigación y Desarrollo en Industrias Alimentarias (CIDIA) de la Facultad de Agronomía, UANL. Al día siguiente, 24 horas post mortem, fue medido el peso de la canal fría (PCF) en el departamento de cárnicos del CIDIA. Posteriormente, el despiece de las canales se realizó y se registró el peso de cada pieza, así como el de las vísceras, con una báscula comercial de acero inoxidable 0PCR20-N (Torrey, Monterrey, NL, México) (Figura 15). Para estimar el RCC, el RCF, el rendimiento de las piezas y el rendimiento de las vísceras, se utilizaron los cálculos del Cuadro 11.



Figura 15. Pesaje de canal, piezas y vísceras.

Cuadro 11. Cálculos para estimar el rendimiento de la canal.

<i>Cálculo</i>	<i>Fórmula</i>
RCC	$(PCC / PS) \times 100$
Rendimiento de canal fría	$(PCF / PS) \times 100$
Rendimiento por pieza	$(\text{Peso de la pieza} / PS) \times 100$
Rendimiento por víscera	$(\text{Peso de la víscera} / PS) \times 100$

6.2.7 Análisis fisicoquímico de la carne

Una muestra del músculo *Longissimus dorsi* (Figura 16) fue tomada del lado derecho de la canal, entre la costilla 7 y 12, para determinar color, CRA, textura y pH . Todos los análisis fueron realizados por duplicado/muestra de carne/tratamiento.



Figura 16. Corte de muestra del músculo *Longissimus dorsi*

Los valores de pH se midieron con un potenciómetro digital de carne HANNA (HI99163, Woonsocket, RI, EE. UU.) (Figura 17). La colorimetría se realizó con un colorímetro CR-400 (Konica Minolta®; Tokio, Japón; Iluminante estándar CIE/Observador: D65/10), como se indica en la Figura 18. Las variables de color analizadas fueron: índice de saturación (croma), ángulo de tonalidad (hue), luminosidad (L^*), tendencia hacia el rojo (a^*) y tendencia al amarillo (b^*).



Figura 17. Análisis de pH de la carne de cabrito con potenciómetro HANNA HI99163.



Figura 18. Determinación de color mediante colorímetro CR-400 Konica Minolta

La medición de la CRA se realizó mediante el método de compresión (Figura 19) como lo realizaron Hernández-Coronado et al. (2019). Se pesó una muestra de carne de aproximadamente 300 ± 0.5 mg; luego, se colocó entre dos filtros de papel y se fijó entre dos placas acrílicas. Después, se ejerció una fuerza equivalente a 4.0 kg durante 20 minutos. Finalmente, se registraron los pesos inicial y final de las muestras para determinar la CRA, usando la fórmula: $CRA = 100 - ((\text{peso inicial} - \text{peso final}) / \text{peso inicial}) \times 100$.

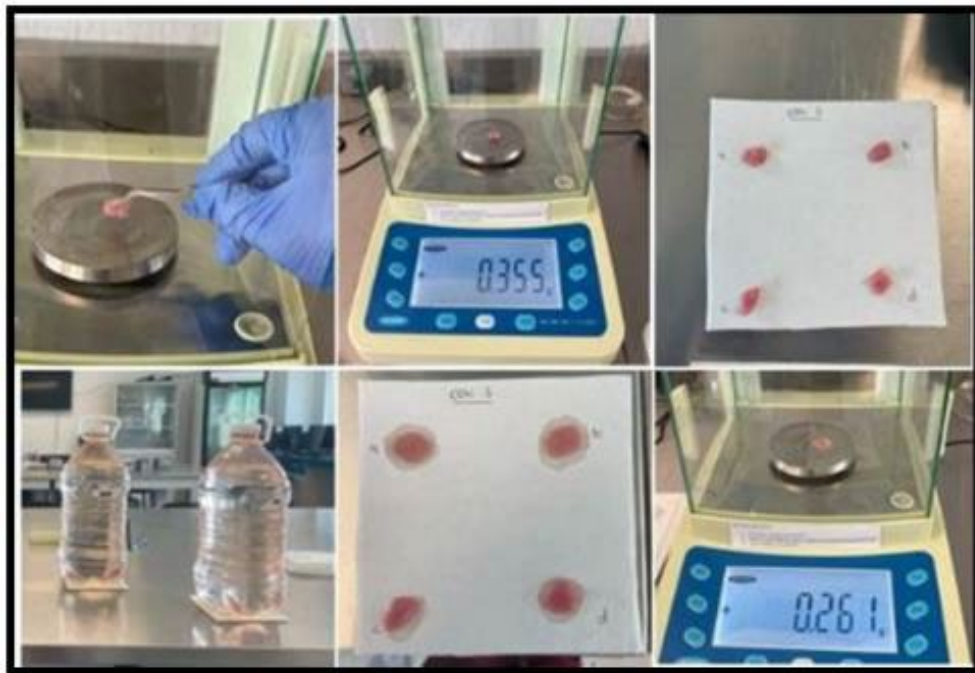


Figura 19. Técnica para evaluar CRA

La pérdida por cocción (PPC) se calculó utilizando el método establecido por De Brito et al. (2016). Las muestras se envasaron al vacío y posteriormente se cocinaron a 75.0 ± 0.1 °C durante 1.5 horas en baño maría. Luego, se enfriaron sumergiéndolas en agua a 4 °C durante 20 minutos. Posteriormente, fueron registrados los pesos de la carne antes y después de la cocción para determinar el porcentaje de PPC [$\% \text{ PPC} = ((\text{Peso crudo} - \text{Peso cocido}) / \text{Peso crudo}) \times 100$] como se muestra en la Figura 20.



Figura 20. Muestras de carne antes y después de la cocción a 75°C para estimar la PPC

Una vez terminados los análisis, las muestras de carne cruda fueron guardadas para realizar el análisis bromatológico del músculo, con el fin de estimar la humedad, materia seca, grasa y proteína cruda de las muestras siguiendo las técnicas definidas por la AOAC (2016) (Figura 21).



Figura 21. Procesamiento bromatológico de la carne

6.2.8 Análisis de textura

La fuerza de corte (FC) y el análisis del perfil de textura (APT) del músculo *Longissimus dorsi* fueron medidas por duplicado/tratamiento con un medidor de textura TA.XT2i (Stable Microsystems; Surrey, Inglaterra; Figura 22). La FC se determinó con una cuchilla Warner-Braztler con corte triangular invertido. Las muestras fueron cortadas con un cuchillo, asegurando dimensiones de 1 x 1 x 2.5 cm en la dirección de las fibras del tejido muscular. La FC se registró en Newton (N) durante el pico máximo de la curva de la prueba. En el APT, fueron empleados cilindros estandarizados de 0.5 cm de altura y 1.0 cm de diámetro, posicionados perpendicularmente a las fibras del tejido muscular. Las condiciones del texturómetro fueron: velocidad de pre-prueba de 1.0 mms-1; durante la prueba 5.0 mms-1 y post-prueba 5.0 mms-1. Fueron registrados los parámetros de resiliencia, elasticidad, dureza, masticabilidad, gomosidad cohesividad, elasticidad, dureza y adhesividad.



Figura 22.Texturómetro TA.XT2i Stable Microsystems realizando la FC de carne de cabrito

6.2.9 Análisis sensorial

Se realizó una prueba sensorial afectiva por atributos con 25 evaluadores semientrenados (Figura 23). La carne de cada tratamiento fue empacada en bolsas de vacío, cocida en agua caliente a 75.0 ± 0.1 °C durante 1.5 horas, enfriada en agua a 4.0 °C por 20 minutos y almacenada en refrigeración (4 °C) hasta la evaluación (24 horas). Cada evaluador recibió aproximadamente 5 g de muestra cocida por tratamiento, cortada en cubos de 1 cm de lado, colocada en vasos de plástico codificados con tres números aleatorios y evaluada de izquierda a derecha, con un enjuague bucal con agua entre muestras. Los atributos evaluados fueron olor, sabor, jugosidad, suavidad y aceptabilidad global, utilizando una escala hedónica de 5 puntos (5 = me gusta muchísimo y 1 = me disgusta muchísimo).

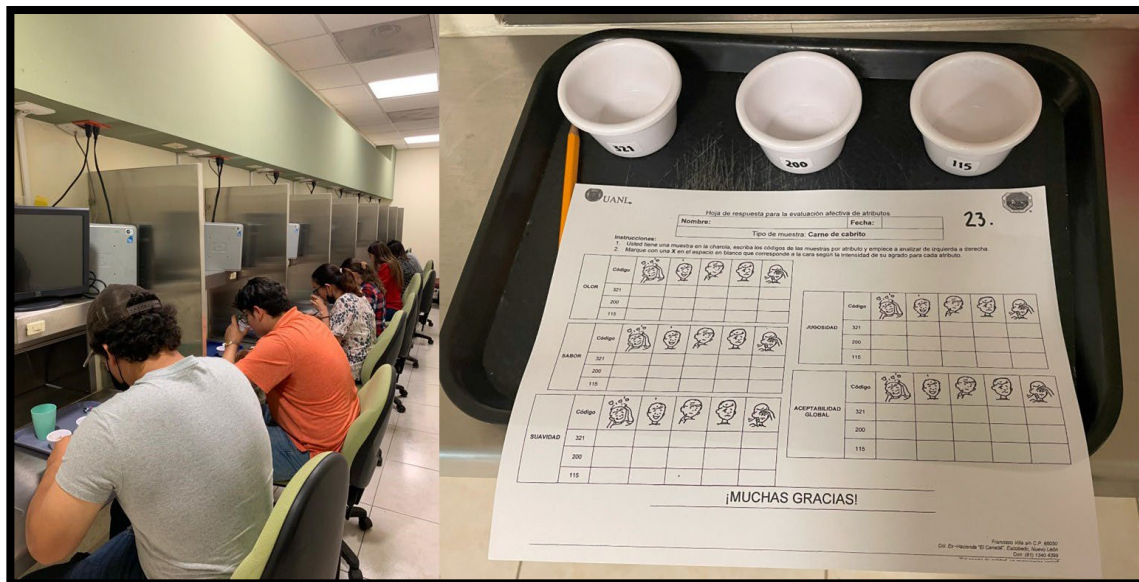


Figura 23. Consumidores realizando la prueba sensorial por atributos de la carne de cabrito.

6.3 Análisis estadístico

Los datos productivos fueron analizados semanalmente con el modelo lineal general (MLG) para la evaluación del efecto por los diferentes tratamientos (T_i), tomando en

cuenta el periodo de muestreo (β_j) y el corral (Υ_k) considerando como covariables el peso inicial (λ_a) y la medición corporal del día 0 (λ_b) en el modelo estadístico: $y = \mu + T_i + \beta_j + \Upsilon_k + \lambda_a + \lambda_b + \varepsilon_{ijk}$. Para los datos globales de crecimiento fue considerado el efecto del tratamiento, el efecto del tiempo (semanas) como bloque, su interacción $(T\beta)_{ij}$ y las covariables del peso inicial (λ_a) y muestreo al tiempo 0 (λ_b): $y = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ij} + \lambda_a + \lambda_b + \varepsilon_{ijk}$. Para los análisis de parámetros sanguíneos, fue considerado el modelo estadístico $y = \mu + T_i + \beta_j + \Upsilon_k + \varepsilon_{ijk}$, donde fue tomado en cuenta el efecto del tratamiento, el efecto del tiempo de muestreo y el corral mediante un MLG. Los datos de variables de sacrificio y rendimiento de canal fueron analizados con el MLG con el fin de analizar la respuesta a los tratamientos, tomando en consideración el periodo de sacrificio (β_j) y el corral, considerando como covariables incluyendo como covariables el peso inicial (λ_a) en el modelo estadístico: $y = \mu + T_i + \beta_j + \Upsilon_k + \lambda_a + \varepsilon_{ijk}$. Para los datos del análisis bromatológico y los análisis fisicoquímicos, fue considerado en el análisis de los datos, el tiempo de sacrificio como bloque (β_j) y el efecto del tratamiento (T_i), $y = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$. Los datos de variables de perfil de textura y pérdida por cocción fueron analizados con el MLG para evaluar la influencia de los tratamientos en las variables, tomando en cuenta el periodo de sacrificio en el modelo estadístico: $y = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$. Para los datos del análisis sensorial, se empleó un análisis estadístico no paramétrico de Friedman considerando el efecto tratamiento y a los panelistas semientrenados como bloques, utilizando $P \leq 0.05$ como diferencia estadística significativa. Se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de medias cuando H_0 fue rechazada ($P \leq 0.05$). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa Minitab (2017).

7. RESULTADOS

7.1 Desempeño productivo

En esta sección se muestran los resultados del desempeño productivo semanal de cabritos alimentados con sustituto lácteo suplementado con AEO (Cuadro 12). No se detectó interacción entre tratamiento y tiempo para las variables evaluadas ($P > 0.05$). En cuanto a los efectos principales, los tratamientos influyeron ($P \leq 0.05$) sobre el CMS, mientras que el tiempo afectó ($P \leq 0.05$) el peso corporal de los cabritos, observándose los mayores valores durante la semana 3 en todos los grupos experimentales. En la primera semana se observó una tendencia en el CMS, donde AEO24 registró el mayor consumo y CON el menor.

El desempeño productivo acumulado de los cabritos suplementados con AEO en el sustituto lácteo durante las tres semanas experimentales se presenta en el Cuadro 13. Se detectaron diferencias entre tratamientos ($P \leq 0.05$) únicamente para el CMS. Los grupos AEO12 y AEO24 registraron un mayor CMS en comparación con CON. En contraste, la GDP, la EA y la CA no mostraron diferencias estadísticas ($P > 0.05$) durante el periodo de evaluación.

Cuadro 12. Desempeño productivo semanal de cabritos con AEO añadido en el sustituto lácteo.

Variable ¹ (kg) / Trat	Semanas ²			P-values ³		
	1	2	3	T _i	δ _j	(Tδ) _{ij}
Peso				0.835	0.000	0.914
CON	5.92	6.72	7.57			
AEO12	5.79	6.78	7.69			
AEO24	6.36	7.11	7.80			
EEM	0.25	0.35	0.37			
P-Value	0.470	0.652	0.848			
CMS				0.045	0.887	0.888
CON	0.19 ^b	0.19	0.19			
AEO12	0.20 ^{ab}	0.21	0.21			
AEO24	0.23 ^a	0.23	0.22			
EEM	0.01	0.01	0.01			
P-Value	0.094	0.261	0.618			
GDP				0.992	0.285	0.357
CON	0.16	0.11	0.12			
AEO12	0.12	0.14	0.13			
AEO24	0.16	0.11	0.12			
EEM	0.02	0.02	0.02			
P-Value	0.207	0.230	0.972			
EA				0.665	0.124	0.367
CON	0.87	0.56	0.62			
AEO12	0.60	0.67	0.62			
AEO24	0.72	0.47	0.52			
EEM	0.11	0.09	0.08			
P-Value	0.383	0.135	0.868			
CA				0.815	0.278	0.526
CON	1.42	3.37	1.74			
AEO12	1.90	1.66	1.86			
AEO24	1.43	2.42	2.15			
EEM	0.25	0.80	0.35			
P-Value	0.437	0.610	0.967			

¹ Consumo de materia seca (CMS); ganancia diaria de peso (GDP); eficiencia alimenticia (GDP/CMS) (EA); conversión alimenticia (CMS/GDP) (EA) CON: sustituto lácteo medicado (20 mg oxitetraciclina y 40 mg neomicina/200 g ST); AEO12: sustituto lácteo + 12 mg AEO/200 g ST; AEO24: sustituto lácteo + 24 mg AEO/200 g ST; Error estándar de la media (EEM).

² Semanas de suplementación: días 1-7 (semana 1), días 8-14 (semana 2) y días 15-21 (semana 3).

³ Efecto del i-ésimo tratamiento (T_i); Efecto del j-ésimo tiempo de evaluación (δ_j); Efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento y j-ésimo tiempo de evaluación (Tδ)_{ij}.

^{a-b} Medias con letras distintas en la misma columna difieren entre tratamientos (P < 0.05); valores con diferente superíndice indican tendencia cuando P > 0.10

Cuadro 13. Desempeño productivo global de cabritos alimentados con AEO en el sustituto lácteo durante tres semanas.

Variable (kg) ¹	Tratamiento ²			EEM ³	P-Value
	CON	AEO12	AEO24		
Peso Final	6.73	6.76	7.05	0.24	0.911
CMS	0.19 ^b	0.20 ^{ab}	0.22 ^a	0.01	0.031
GDP	0.13	0.13	0.13	0.01	0.995
EA	0.68	0.63	0.57	0.06	0.694
CA	1.43	1.58	1.72	0.33	0.817

¹ Consumo de materia seca (CMS); ganancia diaria de peso (GDP); eficiencia alimenticia (GDP/CMS) (EA); conversión alimenticia (CMS/GDP) (EA)

² CON: sustituto lácteo medicado (20 mg oxitetraciclina y 40 mg neomicina/200 g ST); 12AEO: sustituto lácteo + 12 mg AEO/200 g ST; 24AEO: sustituto lácteo + 24 mg AEO/200 g ST.

³ Error estándar de la media (EEM)

^{a-b} Medias con letras distintas en la misma fila difieren entre tratamientos ($P < 0.05$); valores con diferente superíndice indican tendencia cuando $P > 0.10$

7.2 Crecimiento

En el Cuadro 14 se presentan las variables de crecimiento evaluadas semanalmente en cabritos alimentados con sustituto lácteo suplementado con AEO. La interacción entre tratamiento y tiempo no mostró efecto significativo ($P > 0.05$) sobre las variables morfométricas analizadas. En cuanto a los efectos principales, el tiempo influyó ($P < 0.05$) sobre la altura a la región de la cruz (AC), la circunferencia torácica (CT), la longitud del fémur (LF) y la longitud del húmero (LH). Por otra parte, los tratamientos ejercieron efecto ($P < 0.05$) sobre AC, LF y LH. Durante la semana 2 se observó una tendencia ($P < 0.10$) para AC, donde AEO24 presentó el valor más alto y AEO12 el más bajo.

Cuadro 14. Crecimiento semanal de cabritos suplementados con AEO en un sustituto lácteo.

Variables (cm) / Tratamiento ¹	Semanas ²			P-values ³		
	1	2	3	T _i	δ _j	(Tδ) _{ij}
AC				0.009	0.000	0.950
CON	42.75	45.42 ^{ab}	46.83			
AEO12	41.67	44.00 ^b	46.25			
AEO24	43.58	45.92 ^a	47.40			
EEM	0.87	0.80	0.59			
P-Value	0.201	0.079	0.545			
CT				0.588	0.000	0.346
CON	39.83	42.58	45.58			
AEO12	40.58	43.92	46.67			
AEO24	42.08	44.17	46.10			
EEM	0.62	0.68	0.72			
P-Value	0.311	0.561	0.667			
LF				0.033	0.000	0.668
CON	15.83	16.33	16.83			
AEO12	15.33	15.92	16.33			
AEO24	15.08	15.67	16.60			
EEM	0.33	0.40	0.37			
P-Value	0.274	0.293	0.339			
LH				0.040	0.001	0.991
CON	14.50	15.00	15.25			
AEO12	14.75	15.50	15.67			
AEO24	15.25	15.83	16.00			
EEM	0.34	0.28	0.17			
P-Value	0.324	0.514	0.250			

¹ Altura a la región de la cruz (AC); Circunferencia torácica (CT); Longitud del fémur (LF); Longitud del húmero (LH); CON: sustituto lácteo medicado (20 mg oxitetraciclina y 40 mg neomicina/200 g ST); AEO12: sustituto lácteo + 12 mg AEO/200 g ST; AEO24: sustituto lácteo + 24 mg AEO/200 g ST; Error estándar de la media (EEM).

² Semanas de suplementación: días 1-7 (semana 1), días 8-14 (semana 2) y días 15-21 (semana 3).

³ Efecto del tratamiento (T_i); efecto del tiempo (semanas) (δ_j); efecto de la interacción T_i × δ_j (Tδ_{ij}).

^{a-b} Medias con letras distintas en la misma columna difieren entre tratamientos (P < 0.05); valores con diferente superíndice indican tendencia cuando P > 0.10

7.3 Análisis sanguíneo

Los parámetros bioquímicos séricos de los cabritos suplementados con AEO durante tres semanas se muestran en el Cuadro 15. Se observaron diferencias entre tratamientos ($P \leq 0.05$) únicamente para la concentración de albúmina. El grupo CON presentó los valores más bajos, mientras que AEO24 registró la mayor concentración. Adicionalmente, se detectaron tendencias ($P \leq 0.10$) para proteínas totales, globulinas y lactato deshidrogenasa (LDH). En el caso de las proteínas totales y las globulinas, los tratamientos suplementados con AEO mostraron concentraciones superiores a las observadas en CON. Por su parte, la actividad de LDH fue mayor en el grupo control y menor en AEO24.

Cuadro 15. Parámetros bioquímicos de cabritos suplementados con AEO en el sustituto lácteo durante tres semanas.

Variable ¹	Tratamientos ²			EEM ³	P-value
	CON	AEO12	AEO24		
Glucosa (mg/dl)	72.19	58.33	74.79	8.10	0.326
NUS (mg/dl)	13.03	11.33	11.26	1.31	0.575
Urea (mg/dl)	28.14	24.17	24.34	2.75	0.529
Crea (mg/dl)	0.53	0.47	0.48	0.05	0.680
AU (mg/dl)	1.93	2.12	2.03	0.11	0.487
Colesterol (mg/dl)	96.59	94.83	92.06	5.34	0.847
Triglicéridos (mg/dl)	40.43	42.00	40.06	4.00	0.934
BbT (mg/dl)	0.40	0.42	0.36	0.03	0.317
BbD (mg/dl)	0.11	0.12	0.10	0.02	0.843
BbI(mg/dl)	0.29	0.30	0.25	0.02	0.284
PT (g/dl)	5.84 ^b	6.20 ^{ab}	6.60 ^a	0.21	0.094
Albumina (g/dl)	3.12 ^b	3.33 ^{ab}	3.52 ^a	0.09	0.028
Globulina (g/dl)	2.66 ^b	2.87 ^{ab}	3.09 ^a	0.12	0.093
A/G	1.18	1.17	1.14	0.03	0.736
TGO (U/L)	84.27	80.83	69.92	8.30	0.499
TGP (U/L)	23.08	25.00	26.67	1.25	0.195
LDH (U/L)	491.30 ^a	447.70 ^{ab}	390.20 ^b	26.17	0.068
Fosfatasa alcalina (U/L)	467.90	417.30	373.30	66.33	0.634
Ca (mg/dl)	9.84	9.85	9.83	0.04	0.946
P (mg/dl)	6.52	7.30	6.75	0.60	0.632

¹Nitrógeno ureico en sangre (NUS); Creatinina (Crea); Ácido úrico (AU); Bilirrubina total (BbT); Bilirrubina directa (BbD); Bilirrubina indirecta (BbI); Proteínas Totales (PT); Transaminasa glutámico oxalacética (TGO); Transaminasa glutámico-pirúvica (TGP); Lactato deshidrogenasa (LDH); Calcio (Ca); Fósforo (P).

²CON: sustituto lácteo medicado (20 mg oxitetraciclina y 40 mg neomicina/200 g ST); AEO12: sustituto lácteo + 12 mg AEO/200 g ST; AEO24: sustituto lácteo + 24 mg AEO/200 g ST.

³Error estándar de la media (EEM).

^{a-b} Medias con letras distintas en la misma fila difieren entre tratamientos ($P < 0.05$); valores con diferente superíndice indican tendencia cuando $P > 0.10$

Con respecto a los parámetros hematológicos (Cuadro 16), no se detectaron diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$). La ausencia de cambios en los indicadores eritrocitarios y leucocitarios sugiere que la suplementación con AEO no afectó el estado fisiológico ni los principales indicadores hematológicos de salud de los cabritos durante el periodo experimental. Asimismo, los animales suplementados con AEO mostraron respuestas comparables a las observadas en el grupo control, el cual recibió oxitetraciclina y neomicina en el sustituto lácteo.

Estos resultados adquieren relevancia debido al interés creciente en identificar alternativas a los antibióticos utilizados en la producción animal. Diversos estudios han documentado la actividad antimicrobiana del AEO frente a microorganismos como *Escherichia coli* O157 en condiciones *in vitro* (Jia et al., 2022). Aunque el presente trabajo no evaluó directamente la carga microbiana intestinal, la similitud observada entre los grupos suplementados con AEO y el tratamiento con antibióticos sugiere que este AE podría contribuir al mantenimiento del estado de salud de los animales sin alterar sus parámetros hematológicos.

Actualmente existe información limitada sobre el perfil hematológico de cabritos suplementados con AEO, particularmente en animales de raza Alpino Francés durante el primer mes de vida. Si bien no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos, los valores obtenidos en las variables hematológicas aportan información de referencia para esta etapa productiva. Estos resultados pueden ser de utilidad en futuras investigaciones orientadas a caracterizar los parámetros hematológicos de la raza, de manera similar a lo realizado por Abdolvahabi et al. (2018), quienes describieron la evolución de estos indicadores en cabritos Saanen desde el nacimiento hasta los tres meses de edad. En conjunto, los resultados bioquímicos y hematológicos obtenidos en este estudio indican que la inclusión de AEO en el sustituto lácteo no comprometió la salud ni el equilibrio fisiológico o estado de salud de los cabritos, lo que refuerza su potencial como alternativa a los antibióticos durante la etapa de lactancia.

Cuadro 16. Parámetros hematológicos de cabritos suplementados con AEO en el sustituto lácteo durante tres semanas.

Variable ¹	Tratamientos ²			EEM ³	P-value
	CON	AEO12	AEO24		
Parámetros eritrocitarios					
Eritrocitos (1.000.000/mL)	2.49	2.31	2.89	0.20	0.162
Hemoglobina (mg/dL)	9.35	9.08	9.89	0.28	0.177
Hematocrito (%)	11.46	10.67	13.40	1.05	0.224
VCM (fl)	46.08	46.83	46.26	0.62	0.661
MH (pg)	36.66	39.33	34.89	2.65	0.512
MHC (%)	83.53	84.33	76.22	6.65	0.669
ADE (%)	14.42	13.97	15.45	0.50	0.157
Parámetros leucocitarios					
Leucocitos (1.000/mL)	11.14	12.10	13.21	1.45	0.632
Linfocitos (%)	37.44	32.67	34.65	3.31	0.590
Monocitos (%)	7.23	6.33	7.15	0.36	0.178
Basófilos (%)	0.80	1.00	1.04	0.10	0.264
Eosinófilos (%)	4.17	3.50	4.49	0.33	0.140
Neutrófilos (%)	50.36	56.50	52.68	3.40	0.437
Neutrófilos en banda (%)	2.85	4.50	3.77	0.69	0.257
Neutrófilos segmentados (%)	47.51	52.00	48.91	2.90	0.529
Plaquetas	19171	18069	19302	1261	0.745

¹Volumen corpuscular medio (VCM); concentración media de hemoglobina (MH); concentración media de hemoglobina corpuscular (MHC); Anchura distribución de eritrocitos (ADE).

²CON: sustituto lácteo medicado (20 mg oxitetraciclina y 40 mg neomicina/200 g ST); AEO12: sustituto lácteo + 12 mg AEO/200 g ST; AEO24: sustituto lácteo + 24 mg AEO/200 g ST.

³Error estándar de la media (EEM).

7.4 Capacidad antioxidante del suero sanguíneo

Los resultados de los compuestos antioxidantes determinados en suero sanguíneo de cabritos suplementados con AEO durante tres semanas se presentan en el Cuadro 17. Se observaron diferencias entre tratamientos ($P \leq 0.05$) para los fenoles totales (FT). El grupo AEO12 registró la mayor concentración sérica de FT, mientras que AEO24 presentó los valores más bajos. Por otra parte, la capacidad antioxidante evaluada mediante la prueba FRAP mostró una tendencia ($P = 0.060$), donde el tratamiento CON presentó la mayor capacidad antioxidante y AEO12 la menor.

Cuadro 17. Capacidad antioxidante y fenoles totales en suero sanguíneo de cabritos suplementados con AEO en el sustituto lácteo durante tres semanas.

Variable ¹	Tratamiento ²			EEM ³	P-Value
	CON	AEO12	AEO24		
FRAP (ET $\mu\text{M}/\text{mL}$)	664.70 ^a	374.40 ^b	601.30 ^{ab}	91.13	0.060
ABTS (ET $\mu\text{M}/\text{mL}$)	273.30	330.60	207.00	46.60	0.191
FT (EAG $\mu\text{M}/\text{mL}$)	44.43 ^{ab}	47.73 ^a	39.90 ^b	1.37	0.001

¹Ensayo del poder antioxidante reductor férrico (FRAP); Equivalentes trolox en ABTS (ET); ensayo del ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS); Compuestos fenólicos totales (FT); Equivalentes de ácido gálico (EAG).

²CON: sustituto lácteo medicado (20 mg oxitetraciclina y 40 mg neomicina/200 g ST); 12AEO: sustituto lácteo + 12 mg AEO/200 g ST; 24AEO: sustituto lácteo + 24 mg AEO/200 g ST.

³Error estándar de la media (EEM).

^{a-b} Medias con letras distintas en la misma fila difieren entre tratamientos ($P < 0.05$); valores con diferente superíndice indican tendencia cuando $P > 0.10$

7.5 Sacrificio y rendimiento de canal

Los resultados correspondientes al peso al sacrificio (PS), rendimiento de canal, piezas comerciales y vísceras de los cabritos suplementados con AEO se presentan en el Cuadro 18. El PS no fue afectado por los tratamientos ($P > 0.05$); sin embargo, los grupos suplementados con AEO mostraron valores numéricamente superiores al grupo control.

Cuadro 18. Rendimiento de canales, piezas y vísceras de cabritos alimentados con AEO en un sustituto lácteo.

Variable ¹	Tratamientos ²			EEM ³	P-value
	CON	AEO12	AEO24		
PS (kg)	7.57	7.69	7.80	0.37	0.848
Rendimientos (%)					
CC	53.77	51.63	54.42	1.20	0.323
CF	54.03	51.33	53.48	0.90	0.192
Lomo	6.85	7.04	7.26	0.23	0.796
Brazos	10.87 ^a	9.93 ^b	10.44 ^{ab}	0.19	0.056
Piernas	15.99	15.20	16.08	0.34	0.105
Cabeza	5.59	5.20	5.53	0.16	0.237
Cuello	4.46 ^a	3.95 ^b	4.06 ^{ab}	0.16	0.046
Costillas	9.34	9.09	9.21	0.36	0.851
Riñones	0.93	0.92	0.91	0.06	0.965
Corazón	0.58	0.60	0.61	0.02	0.604
Pulmón	1.58	1.92	1.60	0.16	0.430
Hígado	2.64	2.63	2.97	0.11	0.143
Bazo	0.24	0.24	0.26	0.01	0.411

¹Peso sacrificio (PS); Rendimiento de canal caliente (RCC); Rendimiento de canal fría (RCF).

²CON: sustituto lácteo medicado (20 mg oxitetraciclina y 40 mg neomicina/200 g ST); 12AEO: sustituto lácteo + 12 mg AEO/200 g ST; 24AEO: sustituto lácteo + 24 mg AEO/200 g ST.

³Error estándar de la media (EEM).

^{a-b} Medias con letras distintas en la misma fila difieren entre tratamientos ($P < 0.05$); valores con diferente superíndice indican tendencia cuando $P > 0.10$

7.6 Bromatología de la carne

El análisis bromatológico del músculo *Longissimus dorsi* de cabritos suplementados con AEO en el sustituto lácteo se presenta en el Cuadro 19. Entre las variables evaluadas, únicamente el contenido de proteína evidenció diferencias entre tratamientos ($P \leq 0.05$). Los grupos CON y AEO12 registraron mayores concentraciones de proteína en comparación con AEO24. Por el contrario, los contenidos de humedad, grasa, carbohidratos y cenizas no fueron modificados ($P > 0.05$) por la suplementación con AEO.

Cuadro 19. Análisis bromatológico de la carne del músculo *Longissimus dorsi* de cabritos alimentados con AEO en un sustituto lácteo.

Componente (%)	Tratamientos ¹			EEM ²	P-value
	CON	AEO12	AEO24		
Humedad	47.19	47.63	54.57	2.74	0.160
Grasa	6.31	5.83	4.61	0.66	0.212
PC	40.58 ^a	40.42 ^a	35.23 ^b	1.50	0.033
Carbohidratos	0.34	1.72	1.43	0.74	0.396
Ceniza	4.50	4.40	4.25	0.17	0.599

¹CON: sustituto lácteo medicado (20 mg oxitetraciclina y 40 mg neomicina/200 g ST); 12AEO: sustituto lácteo + 12 mg AEO/200 g ST; 24AEO: sustituto lácteo + 24 mg AEO/200 g ST.

²Error estándar de la media (EEM).

^{a-b} Medias con letras distintas en la misma fila difieren entre tratamientos ($P < 0.05$); valores con diferente superíndice indican tendencia cuando $P > 0.10$

7.7 Fisicoquímica de la carne

Las variables fisicoquímicas de la carne de cabritos suplementados con AEO se presentan en el Cuadro 20. Se observaron diferencias entre tratamientos ($P \leq 0.05$) para el pH y los parámetros de color L^* , a^* , b^* , Chroma y Hue. El mayor valor de pH se registró en AEO24, mientras que CON presentó el menor. En cuanto a la luminosidad (L^*), el grupo control mostró los valores más altos y AEO24 los más bajos. Por otra parte, los grupos suplementados con AEO presentaron mayores valores de a^* , b^* , Chroma y Hue en comparación con CON.

Cuadro 20. Variables fisicoquímicas de la carne de cabritos alimentados con AEO en un sustituto lácteo.

Variable ¹	Tratamientos ²			EEM ³	P-value
	CON	AEO12	AEO24		
pH	6.14 ^b	6.28 ^{ab}	6.34 ^a	0.05	0.013
CRA	70.94	73.26	74.19	1.33	0.208
L^*	50.35 ^a	49.98 ^a	48.26 ^b	0.50	0.012
a^*	19.26 ^b	20.23 ^a	20.58 ^a	0.26	0.002
b^*	5.24 ^b	6.07 ^a	5.63 ^{ab}	0.18	0.009
Chroma	19.94 ^b	21.14 ^a	21.35 ^a	0.28	0.001
Hue	15.16 ^b	16.65 ^a	15.30 ^b	0.45	0.045

¹ Capacidad de retención de agua (CRA); luminosidad (L^*); Color rojo (a^*); amarillez (b^*); Índice de saturación (Chroma); Ángulo Hue (Hue).

² CON: sustituto lácteo medicado (20 mg oxitetraciclina y 40 mg neomicina/200 g ST); 12AEO: sustituto lácteo + 12 mg AEO/200 g ST; 24AEO: sustituto lácteo + 24 mg AEO/200 g ST.

³ Error estándar de la media (EEM).

^{a-b} Medias con letras distintas en la misma fila difieren entre tratamientos ($P < 0.05$); valores con diferente superíndice indican tendencia cuando $P > 0.10$

7.8 Pérdida por cocción y textura de la carne

Los resultados de pérdida por cocción y perfil de textura de la carne de cabritos suplementados con AEO se presentan en el Cuadro 21. Se observaron diferencias entre tratamientos ($P \leq 0.05$) para las variables dureza, elasticidad, gomosidad y masticabilidad. El tratamiento AEO24 presentó los mayores valores de dureza, mientras que CON registró los más bajos. Un comportamiento similar se observó para elasticidad, gomosidad y masticabilidad, donde AEO24 mostró los valores más elevados y CON los menores.

Cuadro 21. Pérdida por cocción y perfil de textura de la carne de cabritos alimentados con AEO en un sustituto lácteo.

Variable ¹	Tratamientos ²			EEM ³	P-value
	CON	AEO12	AEO24		
PPC (%)	31.40	30.97	30.57	1.29	0.904
FC (N)	37.68	35.18	36.42	2.98	0.831
Dureza (N)	15.56 ^b	19.79 ^a	20.25 ^a	1.40	0.039
Adhesividad (g/s)	-1.28	-1.36	-1.70	0.37	0.704
Elasticidad (mm)	0.63 ^b	0.70 ^a	0.72 ^a	0.03	0.043
Cohesividad (g/mm)	0.62	0.60	0.63	0.01	0.269
Gomosidad (g)	9.35 ^b	12.03 ^{ab}	13.21 ^a	0.86	0.007
Masticabilidad (g/mm ⁻¹)	5.97 ^b	6.42 ^{ab}	8.17 ^a	0.57	0.024
Resiliencia	0.25	0.25	0.26	0.01	0.454

¹ Pérdida por cocción en relación con el 100% del peso de un trozo de carne (PPC); Fuerza de corte (FC); newtons; g/seg: gramos por segundo (N).

² CON: sustituto lácteo medicado (20 mg oxitetraciclina y 40 mg neomicina/200 g ST); 12AEO: sustituto lácteo + 12 mg AEO/200 g ST; 24AEO: sustituto lácteo + 24 mg AEO/200 g ST.

³ Error estándar de la media (EEM).

^{a-b} Medias con letras distintas en la misma fila difieren entre tratamientos ($P < 0.05$); valores con diferente superíndice indican tendencia cuando $P > 0.10$

7.9 Atributos sensoriales de la carne

La evaluación sensorial de la carne de cabritos suplementados con AEO en el sustituto lácteo se presenta en el Cuadro 22. Se observaron diferencias entre tratamientos ($P \leq 0.05$) para los atributos de suavidad y jugosidad. La carne procedente del grupo AEO12 recibió las puntuaciones más altas para ambos atributos, mientras que la correspondiente a AEO24 fue evaluada como la menos suave y menos jugosa. Por el contrario, los atributos relacionados con sabor, olor y aceptabilidad global no mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$).

Cuadro 22. Evaluación sensorial de consumidor de la carne de cabritos alimentados con AEO en el sustituto lácteo.

Variable	Tratamiento ¹			P-value
	CON	AEO12	AEO24	
Olor	4.00	4.00	4.00	0.797
Sabor	4.00	4.00	4.00	0.897
Suavidad	4.17 ^{ab}	4.50 ^a	3.83 ^b	0.041
Jugosidad	4.00 ^{ab}	4.00 ^a	4.00 ^b	0.036
Aceptabilidad global	4.00	4.00	4.00	0.287

¹CON: sustituto lácteo medicado (20 mg oxitetraciclina y 40 mg neomicina/200 g ST); 12AEO: sustituto lácteo + 12 mg AEO/200 g ST; 24AEO: sustituto lácteo + 24 mg AEO/200 g ST.

^{a-b} Medias con letras distintas en la misma fila difieren entre tratamientos ($P < 0.05$); valores con diferente superíndice indican tendencia cuando $P > 0.10$

8. DISCUSIÓN

8.1 Desempeño productivo

Actualmente no existen reportes que evalúen la inclusión de AEO en sustitutos lácteos para cabritos lactantes, lo que limita la comparación directa de los resultados obtenidos. Sin embargo, Smeti et al. (2020) estudiaron la suplementación de AE de mirto en niveles de 0.3 y 0.6 % en una dieta sólida para cabritos nativos de Túnez de tres meses de edad y 12 kg de peso vivo. De manera similar a los resultados observados en el presente trabajo, dichos autores no encontraron diferencias en el peso final ni en el consumo de alimento. Además, sugirieron que el AE de mirto no modificó la palatabilidad de la dieta, por lo que es posible que el AEO tampoco haya afectado la aceptación del sustituto lácteo utilizado en este estudio. Por el contrario, Ozkaya et al. (2017) reportaron resultados diferentes en becerras Holstein suplementadas con AEO en el sustituto lácteo a concentraciones de 1, 2 y 3 %. En ese trabajo, los animales que recibieron AEO consumieron más alimento que el grupo control. Aunque en el presente estudio se observó una tendencia hacia un mayor CMS en los tratamientos con AEO durante la primera semana, este efecto no se mantuvo en las semanas posteriores. De forma similar a nuestros resultados, Ozkaya et al. (2017) tampoco reportaron variaciones significativas en el peso final de los animales.

La GDP y la EA no fueron modificadas por los tratamientos evaluados. Este comportamiento sugiere que el AEO podría ejercer efectos comparables a los observados con la neomicina incluida en el tratamiento control. La neomicina es uno de los antibióticos empleados con mayor frecuencia en sustitutos lácteos para el control de diarreas asociadas con *Escherichia coli* en becerros (Bampidis et al., 2006). Asimismo, se ha documentado que el AEO posee actividad antimicrobiana frente a diversos microorganismos patógenos, incluyendo bacterias Gram positivas y *E. coli* (Bampidis et al., 2006). En el trabajo de Bampidis et al. (2006), se demostró que la inclusión de 10 mg/kg de hojas secas de orégano produjo respuestas comparables a las obtenidas con 10 mg/kg de neomicina.

Es de relevancia en el presente estudio que el tratamiento CON recibió una combinación de neomicina y oxitetraciclina, mientras que los grupos suplementados con AEO no recibieron antibióticos y fueron evaluados con dosis relativamente menores del AE. A

pesar de ello, los tratamientos con AEO mostraron un desempeño productivo similar al grupo CON en la mayoría de las variables evaluadas. En conjunto, estos resultados sugieren que el AEO puede incorporarse en sustitutos lácteos para cabritos sin afectar negativamente el desempeño productivo y con respuestas comparables a las observadas en animales suplementados con antibióticos.

El incremento en el CMS acumulado (global) observado en los tratamientos suplementados con AEO sugiere una respuesta dependiente de la dosis, ya que el consumo aumentó conforme se incrementó la inclusión del AE. Sin embargo, este mayor consumo no se reflejó en cambios en la GDP, la EA o la CA, lo que indica que los animales suplementados con AEO mantuvieron un desempeño productivo similar al grupo CON, el cual recibió antibióticos en la dieta. En conjunto, estos resultados respaldan el potencial del AEO como una alternativa a los antibióticos en sustitutos lácteos para cabritos.

Liu et al. (2020) evaluaron una mezcla de AE compuesta por carvacrol, cariofileno, ρ -cimeno, cineol, terpineno y timol, combinada con probióticos, en becerros Holstein suplementados con 44.1 ppm durante diferentes periodos de crecimiento. Dichos autores observaron efectos sobre el CMS al día 22 y sobre la conversión alimenticia al día 57. La ausencia de respuestas similares en la presente investigación podría estar relacionada con la duración relativamente corta del periodo experimental, ya que diversos estudios han señalado que los efectos de los AE pueden manifestarse con mayor claridad cuando la suplementación se mantiene durante periodos más prolongados (Liu et al., 2020).

8.2 Crecimiento

La información disponible sobre el efecto del AEO en variables morfológicas de cabritos lactantes es limitada. Wu et al. (2021) evaluaron diferentes niveles de una mezcla de AEO y cobalto en ovejas cruce Suffolk \times Short Han Tail, analizando diversos indicadores de crecimiento corporal. De manera similar a lo observado en este estudio, dichos autores no encontraron efectos de la interacción tratamiento \times tiempo, aunque sí detectaron diferencias asociadas a los efectos principales. Asimismo, Ansari et al. (2022) reportaron cambios en algunas medidas corporales de becerras Holstein suplementadas con 30 g/día de hojas secas de orégano.

Wu et al. (2021) observaron mayores valores de altura a la región de la cruz en animales suplementados con AEO y cobalto a los días 24 y 48 de evaluación, además de diferencias en el análisis global. En la presente investigación únicamente se detectó una tendencia para esta variable durante la segunda semana. Esta respuesta limitada podría estar relacionada con la duración relativamente corta del periodo experimental, ya que los cabritos recibieron el tratamiento durante tres semanas. Es posible que una suplementación más prolongada permitiera evidenciar con mayor claridad posibles cambios en el crecimiento corporal.

Resultados similares fueron reportados por Ansari et al. (2022), quienes suplementaron becerras Holstein lactantes con 30 g/animal/día de hojas secas de orégano durante el primer mes de vida y no encontraron diferencias en la altura a la región de la cruz entre el grupo control y el grupo suplementado. Del mismo modo, Akbarian-Tefaghi et al. (2017) no observaron efectos sobre esta variable en becerros Holstein alimentados con AE de eucalipto, tomillo, apio, una mezcla de AE o monensina.

8.3 Análisis sanguíneo

El incremento de proteínas totales observado en los tratamientos con AEO podría estar asociado al aumento simultáneo de las concentraciones de albúmina y globulinas, ya que ambas fracciones representan la mayor proporción de las proteínas séricas. Asimismo, la tendencia observada para LDH resulta de interés debido a que esta enzima es utilizada como indicador de daño tisular (Kotoh et al., 2008). En el presente estudio, los animales del grupo CON presentaron la mayor actividad de LDH, mientras que los suplementados con AEO24 registraron la menor. Este comportamiento sugiere un posible efecto protector del AEO sobre la integridad tisular en comparación con el tratamiento que recibió antibióticos.

Diversos estudios han señalado que la administración prolongada de compuestos con actividad antioxidante puede atenuar alteraciones fisiológicas asociadas con el envejecimiento, incluyendo cambios en la actividad de enzimas como LDH cardíaca y fosfatasa alcalina hepática (ALP) (El-Zayat y Amer, 2003). Considerando las propiedades antioxidantes atribuidas al AEO, es posible que mecanismos similares hayan contribuido a la respuesta observada en los cabritos suplementados.

Ansari et al. (2022) evaluaron la inclusión de 30 g/animal/día de hojas secas de orégano en becerras Holstein lactantes durante el primer mes de vida y no encontraron efectos sobre los parámetros bioquímicos sanguíneos. De manera similar, Akbarian-Tefaghi et al. (2017) estudiaron la suplementación con monensina sódica y distintos AE, incluyendo eucalipto, tomillo, apio y una mezcla de estos compuestos. Aunque dichos autores reportaron cambios en glucosa y urea después de 70 días de suplementación, estos parámetros no fueron modificados en la presente investigación.

La ausencia de efectos sobre glucosa, urea y otras variables bioquímicas indica que la suplementación con AEO no alteró de manera importante el estado metabólico de los cabritos durante el periodo experimental. Asimismo, Ansari et al. (2022) tampoco observaron cambios en la concentración sérica de albúmina en becerras suplementadas con orégano. Aunque los grupos que recibieron AEO presentaron mayores concentraciones de albúmina que CON, todos los valores obtenidos se encontraron dentro del rango fisiológico reportado para caprinos (2.7–3.9 g/dL) (Khan y Line, 2011). En conjunto, estos resultados sugieren que la inclusión de AEO en el sustituto lácteo no comprometió la función hepática ni el equilibrio metabólico de los animales, lo que respalda su seguridad como aditivo alimenticio durante la etapa de lactancia

8.4 Capacidad antioxidante del suero sanguíneo

Los resultados obtenidos sugieren que la suplementación con AEO favorece el incremento de FT en suero cuando se administra a una dosis de 12 mg AEO/200 g de sólidos totales. Sin embargo, al aumentar la dosis a 24 mg AEO/200 g de sólidos totales, la concentración de FT disminuyó. Este patrón podría indicar una respuesta dependiente de la dosis, caracterizada por un comportamiento no lineal en la disponibilidad sérica de compuestos fenólicos. Un fenómeno similar ha sido descrito en humanos. Renouf et al. (2014) evaluaron diferentes niveles de consumo de café y determinaron las concentraciones plasmáticas de metabolitos secundarios, incluyendo el polifenol 5-CQA. Los autores observaron un aumento en la concentración plasmática al pasar de una dosis baja a una intermedia, seguido de una disminución cuando se administraron dosis más elevadas. De manera semejante, el incremento de FT observado en AEO12 y la reducción registrada en AEO24 podrían estar relacionados con procesos de absorción, metabolismo y excreción

que varían en función de la dosis administrada. Se ha sugerido que concentraciones elevadas de compuestos fenólicos pueden favorecer una mayor biotransformación y eliminación de estos metabolitos, reduciendo su concentración circulante (Feliciano et al., 2017).

Paraskevakis et al. (2015) también evaluaron el efecto antioxidante de la suplementación con orégano en cabras alpinas durante cuatro semanas. Aunque dichos autores reportaron un aumento en los valores de FRAP en leche, no determinaron la capacidad antioxidante en suero sanguíneo, lo que limita la comparación directa con los resultados obtenidos en el presente estudio. En conjunto, estos hallazgos sugieren que el AEO puede modificar el estatus antioxidante de los cabritos mediante cambios en la concentración de compuestos fenólicos circulantes. No obstante, la respuesta observada parece depender de la dosis suministrada, por lo que estudios futuros deberían profundizar en los mecanismos de absorción y metabolismo de los compuestos fenólicos presentes en el AEO.

8.5 Sacrificio y rendimiento de canal

Resultados similares fueron reportados por Ünlü et al. (2022), quienes no observaron cambios en el PS ni en los pesos de canal de corderos Ille de France × Kıvrıkcık suplementados con 300 mg/kg de AEO. De manera semejante, Pukrop et al. (2019) no detectaron efectos sobre el PS en becerros Angus × Simmental alimentados con una mezcla de AE que contenía timol (1 g/animal/día), mientras que Rotondi et al. (2018) tampoco encontraron modificaciones en esta variable al suplementar cabritos Garganica con una dieta que incluía linaza extruida (3 %) y orégano seco (0.6 %).

Respecto al rendimiento de las piezas comerciales, únicamente los brazos y el cuello mostraron diferencias entre tratamientos ($P \leq 0.05$). El grupo CON presentó los mayores rendimientos para ambas piezas, mientras que AEO12 registró los valores más bajos. Actualmente existe poca información sobre el efecto del AEO administrado mediante sustituto lácteo sobre las características de la canal en cabritos lactantes, por lo que las comparaciones con otros estudios son limitadas. Tarricone et al. (2021) evaluaron dietas suplementadas con linaza extruida (3 %) y orégano seco (0.6 %) en cabritos Grigia di Potenza y observaron diferencias en el rendimiento de canal caliente y fría, siendo uno de

los tratamientos con orégano el que presentó los mejores resultados. En contraste, la suplementación con AEO en el presente estudio no modificó el rendimiento de la canal. De igual forma, Ünlü et al. (2022) reportaron que el rendimiento de órganos como corazón, hígado, bazo y riñón no fue afectado por la suplementación con AEO, resultado que coincide con lo observado en esta investigación.

El rendimiento de canal en pequeños rumiantes puede oscilar entre 36 y 60 %, dependiendo de factores como la edad, el peso al sacrificio, la raza, el sexo, el sistema de producción y el método de sacrificio (Corazzin et al., 2019). Los valores de rendimiento de canal caliente (RCC) y rendimiento de canal fría (RCF) obtenidos en este estudio se encontraron dentro de los rangos descritos para ovinos y caprinos, aproximándose al límite superior reportado para estas especies. Este comportamiento coincide con Corazzin et al. (2019), al observar que los animales lactantes suelen presentar mayores rendimientos de canal debido al menor desarrollo relativo del tracto gastrointestinal en comparación con animales destetados. Aunque el grupo CON presentó valores ligeramente superiores en algunas piezas comerciales, particularmente brazos y piernas, estas diferencias no se reflejaron en cambios importantes en el rendimiento global de la canal ni en el peso al sacrificio. Dichos resultados resaltan que la inclusión de AEO en el sustituto lácteo no comprometió las variables de sacrificio ni las características generales de la canal. Además, los rendimientos obtenidos fueron similares a los observados en animales suplementados con antibióticos, lo que respalda el potencial del AEO como alternativa durante la etapa de lactancia.

8.6 Bromatología de la carne

Resultados similares han sido reportados en otros estudios que evaluaron la inclusión de orégano o AE en la alimentación de pequeños rumiantes. Ünlü et al. (2022) analizaron la bromatología del músculo *Longissimus dorsi* en corderos Ille de France × Kivirek suplementados con 300 mg/kg de AEO y no encontraron cambios en el contenido de grasa intramuscular, coincidiendo con los resultados observados en la presente investigación. De igual manera, Colonna et al. (2023) no detectaron diferencias en humedad ni cenizas al suplementar cabritos Facciuta Lucana con una dieta que contenía 3 % de linaza extruida y 0.6 % de orégano seco.

Respecto al contenido proteico, Rotondi et al. (2018) observaron una tendencia en esta variable en cabritos Grigia di Potenza alimentados con linaza extruida y orégano seco (3 % y 0.6 %, respectivamente). Este comportamiento guarda cierta similitud con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde la dosis más alta de AEO se asoció con una menor concentración de proteína en la carne. Por otro lado, Tarricone et al. (2021) reportaron una reducción en el contenido proteico de la carne en animales suplementados con orégano bajo proporciones similares de linaza y orégano. Las discrepancias observadas entre estudios podrían estar relacionadas con diferencias en la dosis administrada, la forma de suministro del orégano, la edad y el estado fisiológico de los animales, así como con posibles interacciones entre los compuestos bioactivos y otros ingredientes de la dieta.

Aunque existen investigaciones que han evaluado la bromatología de la carne en animales suplementados con AE, la información disponible sobre el efecto del AEO administrado mediante sustituto lácteo en cabritos lactantes continúa siendo limitada. En este contexto, los resultados obtenidos sugieren que la inclusión de AEO no modificó de manera importante la composición bromatológica de la carne, con excepción del contenido de proteína observado en el tratamiento con la dosis más alta.

8.7 Fisicoquímica de la carne

Estos resultados difieren de los reportados por Rotondi et al. (2018), Tarricone et al. (2021) y Ünlü et al. (2022), quienes no observaron efectos del orégano o del AEO sobre el pH de la carne. El pH post mortem es uno de los principales factores que determinan las propiedades fisicoquímicas y tecnológicas de la carne, ya que influye en la estabilidad de las proteínas musculares, la capacidad de retención de agua y los procesos de degradación proteica relacionados con la textura (Corazzin et al., 2019). En caprinos, valores de pH relativamente elevados son frecuentes y pueden favorecer una mayor estabilidad del color al acercarse a condiciones menos ácidas (Pophiwa et al., 2020).

El incremento de pH observado en los tratamientos suplementados con AEO, especialmente en AEO24, podría estar relacionado con una mayor estabilidad de la mioglobina y de las proteínas musculares. Aunque el pH no modifica la concentración de mioglobina presente en el tejido, sí puede influir en su estado químico y en la estabilidad de los pigmentos responsables del color de la carne. Esta situación podría contribuir a

explicar los valores elevados de a^* reportados en los tratamientos suplementados con AEO. Diversos autores han señalado que la intensidad del color rojo se encuentra estrechamente relacionada con la concentración y estabilidad de la mioglobina, así como con el contenido de hierro presente en el músculo (Corazzin et al., 2019).

A diferencia de los resultados obtenidos en este estudio, Colonna et al. (2023), Ünlü et al. (2022) y Rotondi et al. (2018) no reportaron modificaciones en el parámetro a^* de la carne tras la suplementación con orégano. Por su parte, Tarricone et al. (2021) únicamente observaron tendencias para las variables L^* , a^* y b^* , mientras que en la presente investigación dichas variables fueron afectadas significativamente por los tratamientos. Además del posible efecto asociado al pH, el contenido de grasa intramuscular también puede influir sobre las características de color de la carne. Se ha reportado que concentraciones de grasa entre 2 y 8 % pueden modificar los valores de L^* , a^* y b^* (Corazzin et al., 2019). Considerando que los valores de grasa intramuscular obtenidos en este estudio oscilaron entre 5.86 y 6.31 %, es posible que este factor haya contribuido parcialmente a las diferencias observadas en los parámetros de color, particularmente en el tratamiento AEO12. Los resultados sugieren que la suplementación con AEO modificó algunas propiedades fisicoquímicas de la carne, principalmente aquellas relacionadas con el pH y el color. Estos cambios podrían influir en la percepción visual del producto y representar una respuesta diferencial asociada con la dosis de AE utilizada.

8.8 Pérdida por cocción y textura de la carne

Actualmente existe escasa información sobre el efecto del AEO en las propiedades texturales de la carne de cabritos o de otros rumiantes. Sin embargo, la influencia de este AE sobre características relacionadas con la textura ha sido estudiada en especies no rumiantes. Debido a que los cabritos lactantes presentan una funcionalidad ruminal limitada y dependen principalmente de la digestión de nutrientes a nivel intestinal, algunos resultados obtenidos en aves pueden servir como referencia para interpretar los hallazgos del presente estudio. Diversas investigaciones realizadas con AEO de *Lippia berlandieri* Schauer en pollos han reportado modificaciones en variables como dureza, fuerza de corte, cohesividad y resiliencia (Hernández-Coronado et al., 2019).

La suplementación con AEO incrementó la dureza instrumental de la carne, particularmente en el tratamiento AEO24. Este resultado indica una mayor resistencia mecánica al ser comprimida o masticada, característica generalmente asociada con una menor ternura. La suavidad constituye uno de los atributos de calidad más valorados por los consumidores de carne roja y ejerce una influencia importante sobre la aceptación del producto (Holloway y Wu, 2019). En este contexto, los resultados instrumentales sugieren que la carne proveniente de los animales suplementados con la dosis más alta de AEO presentó una textura más firme en comparación con la observada en el grupo control. No obstante, esta respuesta no fue completamente consistente con los resultados del análisis sensorial (Cuadro 22). Aunque AEO24 presentó los mayores valores instrumentales de dureza, los consumidores calificaron la carne del tratamiento AEO12 como la más suave. Esta diferencia pone de manifiesto que la percepción de la textura no depende exclusivamente de los parámetros instrumentales. Factores como la jugosidad, el contenido de grasa, la liberación de compuestos aromáticos durante la masticación y las preferencias individuales del consumidor también pueden influir en la evaluación sensorial de la carne. La evidencia generada en este estudio sugiere que la adición de AEO modificó algunas propiedades texturales de la carne, especialmente cuando se utilizó la dosis más alta. Sin embargo, la respuesta observada mediante análisis instrumental no se reflejó de manera directa en la percepción de los consumidores, lo que resalta la importancia de complementar las mediciones objetivas con evaluaciones sensoriales al estudiar la calidad de la carne.

8.9 Atributos sensoriales de la carne

Scarpa et al. (2021) evaluaron el efecto de la inclusión de semillas de linaza extruida y orégano en una ración total mixta para ovejas Gentile di Puglia y analizaron diversos atributos sensoriales de la carne, incluyendo sabor, succulencia, suavidad, jugosidad y aceptabilidad global. Estos autores reportaron diferencias en la mayoría de las características evaluadas, con excepción de la aceptabilidad global. Particularmente, la carne proveniente de los animales suplementados con linaza y orégano fue percibida como más suave y jugosa, resultado que coincide con lo observado en el tratamiento AEO12 del presente estudio. Resultados similares fueron descritos por Colonna et al. (2023), quienes evaluaron una dieta suplementada con linaza extruida y orégano en cabras Facciuta

Lucana. En dicho trabajo, la carne de los animales suplementados fue preferida por los consumidores debido a su mayor suavidad y jugosidad. La coincidencia entre estos estudios y los resultados obtenidos en esta investigación sugiere que la inclusión de compuestos derivados del orégano puede influir favorablemente sobre algunos atributos sensoriales asociados con la experiencia de consumo.

Diversos factores relacionados con la alimentación pueden modificar las características sensoriales de la carne. Se ha reportado, por ejemplo, que el sistema de alimentación puede influir en la intensidad del sabor y en otras propiedades organolépticas del producto final (Scarpa et al., 2021). Sin embargo, en el presente estudio la suplementación con AEO no afectó el sabor, el olor ni la aceptabilidad global, lo que indica que la incorporación de este aditivo en el sustituto lácteo no generó cambios perceptibles en estos atributos. La inclusión de AEO, particularmente a la dosis de 12 mg/200 g de sólidos totales, mejoró la percepción de suavidad y jugosidad de la carne sin comprometer la aceptabilidad global del producto. Este hallazgo es relevante debido a que ambos atributos son considerados determinantes en la satisfacción del consumidor y en la valoración de la calidad de la carne.

9. CONCLUSIÓN

La inclusión en el sustituto lácteo de aceite esencial de orégano (AEO) mantuvo el desempeño productivo, las variables de crecimiento, los parámetros hematológicos y bioquímicos, así como las características de sacrificio y rendimiento de canal de cabritos lactantes en niveles comparables a los observados en el tratamiento control suplementado con oxitetraciclina y neomicina. Estos resultados indican que la inclusión de AEO no comprometió la salud, el estado fisiológico ni la productividad de los animales durante el periodo experimental. La respuesta al AEO fue dependiente de la dosis. La inclusión de 24 mg de AEO/200 g de sólidos totales modificó la bromatología de la carne al reducir su contenido de proteína y produjo cambios en algunas propiedades fisicoquímicas y texturales, incluyendo incrementos en pH, dureza, elasticidad, gomosidad y masticabilidad. Asimismo, la suplementación con AEO alteró parámetros relacionados con el color de la carne (L^* , a^* , b^* , Chroma y Hue), lo que evidencia una influencia sobre características asociadas con la calidad del producto final. Desde el punto de vista sensorial, la dosis de 12 mg de AEO/200 g de sólidos totales mostró los resultados más favorables, ya que la carne fue percibida por los consumidores como más suave y jugosa, sin modificar la aceptabilidad global. La dosis baja de AEO representa la estrategia más adecuada entre las evaluadas, al mantener el desempeño productivo y los indicadores de salud comparables a un tratamiento con antibióticos, además de mejorar atributos sensoriales relevantes para el consumidor.

10.PERSPECTIVA

Los resultados obtenidos en el presente estudio proporcionan evidencia sobre el potencial del AEO como alternativa a los antibióticos en sustitutos lácteos para cabritos lactantes. No obstante, también ponen resalta la necesidad de profundizar en los mecanismos biológicos involucrados en las respuestas observadas. Una línea de investigación que emerge del presente estudio consiste en esclarecer los procesos fisiológicos y metabólicos asociados con la respuesta dependiente de la dosis identificada entre AEO12 y AEO24, particularmente aquellos relacionados con el metabolismo de compuestos fenólicos, el desarrollo muscular y las modificaciones observadas en la calidad de la carne. Asimismo, es relevante evaluar un mayor número de dosis intermedias que permitan definir con mayor precisión el nivel óptimo de inclusión de AEO en sustitutos lácteos. De igual manera, futuras investigaciones deberían analizar el efecto del AEO sobre la microbiota intestinal, la incidencia de trastornos digestivos neonatales, la respuesta inmunológica y los mecanismos asociados con la salud intestinal de los cabritos. Este enfoque contribuiría a comprender mejor su modo de acción y fortalecería la evidencia científica necesaria para respaldar su uso como alternativa natural a los antibióticos en los sistemas de producción caprina en la fase pre-rumiante.

11.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdolvahabi, S., Zaeemi, M., Mohri, M. y Naserian, A. A. (2018). The hematological profile changes in Saanen goat kids from birth to 3 months of age. *Iranian Journal of Veterinary Science and Technology*, 10(1), 33-38. doi: 10.22067/veterinary.v10i1.66272
- Akbarian-Tefaghi, M., Ghasemi, E., y Khorvash, M. (2017). Performance, rumen fermentation and blood metabolites of dairy calves fed starter mixtures supplemented with herbal plants, essential oils or monensin. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(3), 630–638. <https://doi.org/10.1111/jpn.12842>
- Ansari, M., Kargar, S., Eslami, M. A., Falahati, R., Albenzio, M., Caroprese, M., Zamiri, M. J., y Kanani, M. (2022). Potential benefits of early-life supplementation of liquid feed with fennel (*Foeniculum vulgare*) seeds or oregano (*Origanum vulgare*) leaves on growth, health, and blood metabolites in Holstein dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 105(8), 6639–6653. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21776>
- AOAC. (2016). AOAC Official Methods of Analysis. Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C., 15th (Volume 1), 136–138. http://www.aoac.org/aoac_prod_imis/AOAC/Publications/Official_Methods_of_Analysis/AOAC_Member/Pubs/OMA/AOAC_Official_Methods_of_Analysis.aspx
- Avila-Sosa, R., Gastélum-Franco, M. G., Camacho-Dávila, A., Torres-Muñoz, J. V., y Nevárez-Moorillón, G. V. (2010). Extracts of Mexican oregano (*Lippia berlandieri* Schauer) with antioxidant and antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), 434–440. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0085-7>
- Bampidis, V. A., Christodoulou, V., Florou-Paneri, P., y Christaki, E. (2006). Effect of dried oregano leaves versus neomycin in treating newborn calves with

colibacillosis. *Journal of Veterinary Medicine Series A: Physiology Pathology Clinical Medicine*, 53(3), 154–156. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.2006.00806.x>

Calderon-Aguilera, L. E., Rivera-Monroy, V. H., Porter-Bolland, L., Martínez-Yrizar, A., Ladah, L. B., Martínez-Ramos, M., Alcocer, J., Santiago-Pérez, A. L., Hernandez-Arana, H. A., Reyes-Gómez, V. M., Pérez-Salicrup, D. R., Díaz-Núñez, V., Sosa-Ramírez, J., Herrera-Silveira, J., y Búrquez, A. (2012). An assessment of natural and human disturbance effects on Mexican ecosystems: current trends and research gaps. *Biodiversity and Conservation*, 21(3), 589–617. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0218-6>

Cantú-Brito, J. E. (2008). *Zootecnia de Ganado Caprino* (1st ed.). Trillas. https://etrillas.mx/libro/zootecnia-de-ganado-caprino_9187

Colonna, M. A., Karatosidi, D., Cosentino, C., Freschi, P., Carbonara, C., Giannico, F., Losacco, C., Tufarelli, V., Tarricone, S., Selvaggi, M., y Ragni, M. (2023). Dietary Supplementation with Oregano and Linseed in Autochthonous “Facciuta Lucana” Goats: Effects on Meat Quality Traits in Suckling Kids. *Animals*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/ani13193050>

Congreso del Estado de Nuevo León. (2021). Piden impulsar la producción caprina en el norte de Nuevo León. Sala de Prensa LXXVI H. 2021.

Corazzin, M., Del Bianco, S., Bovolenta, S., y Piasentier, E. (2019). More than Beef, Pork and Chicken - The Production, Processing, and Quality Traits of Other Sources of Meat for Human Diet, Carcass Characteristics and Meat Quality of Sheep and Goat. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-05484-7>

Cui, H., Zhang, C., Li, C., y Lin, L. (2019). Antibacterial mechanism of oregano essential oil. *Industrial Crops and Products*, 139(June), 111498. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111498>

- De Brito, G. F., McGrath, S. R., Holman, B. W. B., Friend, M. A., Fowler, S. M., van de Ven, R. J., y Hopkins, D. L. (2016). The effect of forage type on lamb carcass traits, meat quality and sensory traits. *Meat Science*, 119, 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.030>
- De Palo, P., Maggiolino, A., Centoducati, N., y Tateo, A. (2015). Effects of different milk replacers on carcass traits, meat quality, meat color and fatty acids profile of dairy goat kids. *Small Ruminant Research*, 131, 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.09.001>
- Dennis, T. S., Suarez-Mena, F. X., Hu, W., Hill, T. M., Quigley, J. D., y Schlotterbeck, R. L. (2019). Effects of milk replacer feeding rate and long-term antibiotic inclusion in milk replacer on performance and nutrient digestibility of Holstein dairy calves up to 4 months of age. *Journal of Dairy Science*, 102(3), 2094–2102. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15652>
- El-Zayat, E. y Amer, S.A. (2003) Protective effects of antioxidants on age-related changes in the electrophoretic patterns of cardiac LDH, hepatic ALP and serum proteins in male golden hamster. *Cell Biochemistry and Function*, 21(2), pp. 137–145. <https://doi.org/10.1002/cbf.1010>.
- Evangelista, A. G., Corrêa, J. A. F., Pinto, A. C. S. M., y Luciano, F. B. (2022). The impact of essential oils on antibiotic use in animal production regarding antimicrobial resistance—a review. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 62, Issue 19, pp. 5267–5283). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1883548>
- Feliciano, R. P., Mills, C. E., Istas, G., Heiss, C., & Rodriguez-Mateos, A. (2017). Absorption, Metabolism and Excretion of Cranberry (Poly)phenols in Humans: A Dose Response Study and Assessment of Inter-Individual Variability. In *Nutrients* (Vol. 9, Issue 3, p. 268). <https://doi.org/10.3390/nu9030268>
- Food and agriculture of the United Nations. (2026). FAOSTAT. Data. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>

- Gurung, N. K., y Solaiman, S. G. (2010). Goat Breeds. In *Goat Science and Production* (1st ed.). Wiley-Blackwell. <https://www.wiley.com/en-us/Goat+Science+and+Production-p-9780813809366>
- 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. <https://doi.org/10.3382/ps/pez094>
- Holloway, J. W., y Wu, J. (2019). Red Meat Science and Production: Intrinsic Meat Character: Volume 2. In *Red Meat Science and Production: Intrinsic Meat Character: Volume 2* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1007/978-981-13-7860-7>
- Instituto nacional de estadística y geografía (INEGI). (2024). Compendio de Información Geográfica Municipal. [Software en línea]. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=19>
- Jia, L., Wu, J., Lei, Y., Kong, F., Zhang, R., Sun, J., Wang, L., Li, Z., Shi, J., Wang, Y., Wei, Y., Zhang, K., y Lei, Z. (2022). Oregano Essential Oils Mediated Intestinal Microbiota and Metabolites and Improved Growth Performance and Intestinal Barrier Function in Sheep. *Frontiers in Immunology*, 13(July), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.908015>
- Kahn, C.M., y Line, S. (2011). *The Merck Veterinary Manual*. (11° Ed). Merck & Co: Whitehouse Station.
- Katsoulos, P. D., Karatzia, M. A., Dovas, C. I., Filioussis, G., Papadopoulos, E., Kiossis, E., Arsenopoulos, K., Papadopoulos, T., Boscós, C., y Karatzias, H. (2017). Evaluation of the in-field efficacy of oregano essential oil administration on the control of neonatal diarrhea syndrome in calves. *Research in Veterinary Science*, 115(May), 478–483. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.07.029>

- Kertz, A. F., Hill, T. M., Quigley, J. D., Heinrichs, A. J., Linn, J. G., y Drackley, J. K. (2017). A 100-Year Review: Calf nutrition and management. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10151–10172. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2017-13062>
- Kim, H., Hur, S., Lim, J., Jin, K., Yang, T., Keehm, I., Kim, S. W., Kim, T., y Kim, D. (2023). Enhancement of the phenolic compounds and antioxidant activities of Kombucha prepared using specific bacterial and yeast. *Food Bioscience*, 56, 103431. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103431>
- Kotoh, K., Enjoji, M., Kato, M., Kohjima, M., Nakamuta, M., y Takayanagi, R. (2008). A new parameter using serum lactate dehydrogenase and alanine aminotransferase level is useful for predicting the prognosis of patients at an early stage of acute liver injury: A retrospective study. *Comparative Hepatology*, 7, 1–8. <https://doi.org/10.1186/1476-5926-7-6>
- Lambert, R. J. W., Skandamis, P. N., Coote, P. J., y Nychas, G.-J. E. (2001). A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. *Journal of Applied Microbiology*, 3(91), 453–462. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2001.01428.x>
- Li, B., Zheng, K., Lu, J., Zeng, D., Xiang, Q., y Ma, Y. (2022). Antibacterial characteristics of oregano essential oil and its mechanisms against *Escherichia coli* O157:H7. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(4), 2989–2998. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01393-3>
- Liu, T., Chen, H., Bai, Y., Wu, J., Cheng, S., He, B., y Casper, D. P. (2020). Calf starter containing a blend of essential oils and prebiotics affects the growth performance of Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 103(3), 2315–2323. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16647>
- López Puga, J. C., Valadez Pineda, A., Kawas, J. R., Hernández Martínez, S. P., Sobrevilla Hernández, G., Rico Costilla, D. S., Sinagawa García, S. R., y Méndez Zamora, G. (2021). Producción de leche de cabra en México y uso de aceites

- esenciales de plantas aromáticas en su producción. *TECNOCIENCIA Chihuahua*, 15(3), 234–245. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i3.839>
- Lu, C. D., y Miller, B. A. (2019). — Special Issue — Current status, challenges and prospects for dairy goat production in the Americas. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(8), 1244–1255. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0256>
- Minitab 17 Statistical Software (2017). [Computer software]. State College, PA: Minitab, Inc.
- Montaldo, H. H., Torres-Hernández, G., y Valencia-Posadas, M. (2010). Goat breeding research in Mexico. *Small Ruminant Research*, 89(2–3), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.039>
- Montiel-Aguilar, L. J., Olazarán-Santibáñez, F., Torres-Castillo, J. A., Rivera, G., Sinagawa-García, S. R., Rosa-Manzano, E. D. la, y Rodríguez-Castillejos, G. C. (2022). Antioxidative Properties of Ethanolic Extracts Differing by Sex and Coloration of *Pterophylla beltrani*. *Southwestern Entomologist*, 47(3), 575–586. <https://doi.org/10.3958/059.047.0305>
- Murray-Tortarolo, Guillermo y N.Jaramillo, V. J. (2019). The impact of extreme weather events on livestock populations: the case of the 2011 drought in Mexico. *Climatic Change*, 79–89. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02373-1>
- Nair, M. R. R., Sejian, V., Silpa, M. V., Fonsêca, V. F. C., de Melo Costa, C. C., Devaraj, C., Krishnan, G., Bagath, M., Nameer, P. O., y Bhatta, R. (2021). Goat as the ideal climate-resilient animal model in tropical environment: revisiting advantages over other livestock species. *International Journal of Biometeorology*, 65(12), 2229–2240. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02179-w>
- NOM-033- SAG/ZOO. (2014). Norma Oficial Mexicana. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres.
- NOM-040-ZOO-1995. (2021). Especificaciones para la comercialización de sales puras antimicrobianas para uso en animales o consumo por estos.

NOM-062-ZOO-1999 (1999). Norma oficial Mexicana, especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio.

NRC. (2007). Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11654>

Olivas-Salazar R, Estrada-Angulo A, Mellado M, Aguilar-Caballero AJ, Castro-Pérez BI, Gutiérrez-Blanco E y Ruiz-Zárate F. (2018) Prevalence of gastrointestinal nematode infections in goat flocks on semi-arid rangelands of northeastern Mexico. *Trop Anim Health Prod.* Apr;50(4):807-813. doi: 10.1007/s11250-017-1499-x.

Oussalah, M., Caillet, S., y Lacroix, M. (2006). Mechanism of action of Spanish oregano, Chinese cinnamon, and savory essential oils against cell membranes and walls of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes*. *Journal of Food Protection*, 69(5), 1046–1055. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-69.5.1046>

Ozkaya, S., Erbas, S., Ozkan, O., Baydar, H., y Aksu, T. (2017). Effect of supplementing milk replacer with aromatic oregano (*Oreganum onites* L.) water on performance, immunity and general health profiles of Holstein calves. *Animal Production Science*, 58(10), 1892–1900. <https://doi.org/10.1071/AN16574>

Palomares-Reséndiz, G., Aguilar-Romero, F., Flores-Pérez, C., Gómez-Núñez, L., Gutiérrez-Hernández, J., Herrera-López, E., Limón-González, M., Morales-Álvarez, F., Pastor-López, F., & Díaz-Aparicio, E. (2021). Important infectious diseases in goat production in Mexico. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 12, 205–223.

Paraskevakis, N. (2015). Effects of dietary dried Greek Oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) supplementation on blood and milk enzymatic antioxidant indices, on milk total antioxidant capacity and on productivity in goats. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.09.001>

- Pophiwa, P., Webb, E. C., y Frylinck, L. (2020). A review of factors affecting goat meat quality and mitigating strategies. *Small Ruminant Research*, 183(August 2019), 106035. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.106035>
- Porter, J. W. G. (1969). Digestion in the pre-ruminant animal. *Proceedings of the Nutrition Society*, 28(1), 115–121. <https://doi.org/DOI:10.1079/PNS19690022>
- Pukrop, J. R., Campbell, B. T., y Schoonmaker, J. P. (2019). Effect of essential oils on performance, liver abscesses, carcass characteristics and meat quality in feedlot steers. *Animal Feed Science and Technology*, 257(May), 114296. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114296>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., y Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9), 1231–1237. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Renouf, M., Marmet, C., Giuffrida, F., Lepage, M., Barron, D., Beaumont, M., Williamson, G. y Dionisi, F. (2014). Dose–response plasma appearance of coffee chlorogenic and phenolic acids in adults. *Mol. Nutr. Food Res.*, 58: 301–309. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201300349>
- Rhayour, K., Bouchikhi, T., Tantaoui-Elaraki, A., Sendide, K., y Remmal, A. (2003). Extraction, separation at the mechanism of bactericidal action of oregano and clove essential oils and of their phenolic major components on escherichia coli and bacillus subtilis. *Journal of Essential Oil Research*, 15(5), 356–362. <https://doi.org/10.1080/10412905.2003.9698611>
- Rotondi, P., Colonna, M. A., Marsico, G., Giannico, F., Ragni, M., y Facciolongo, A. M. (2018). Dietary supplementation with oregano and linseed in garganica suckling kids: Effects on growth performances and meat quality. *Pakistan Journal of Zoology*, 50(4), 1421–1433. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2018.50.4.1421.1433>

- Scarpa, G., Tarricone, S., y Ragni, M. (2021). Carcass composition, meat quality and sensory quality of gentile di puglia light lambs: Effects of dietary supplementation with oregano and linseed. *Animals*, 11(3), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ani11030607>
- Secretaría de Agricultura. (2026). SIAP. Gobierno de México. <https://www.agricultura.gob.mx/datos-abiertos/siap>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2016). ¿Qué alimentos obtenemos de los caprinos o chivos? <https://www.gob.mx/siap/articulos/caprinos-o-chivos>
- Silva, E., Galina, M. A., Palma, J. M., y Valencia, J. (1998). Reproductive performance of Alpine dairy goats in a semi-arid environment of Mexico under a continuous breeding system. *Small Ruminant Research*, 27(1), 79–84. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(97\)00025-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-4488(97)00025-4)
- Smeti, S., Hajji, H., Bouzid, K., Abdelmoula, J., Muñoz, F., Mahouachi, M., y Atti, N. (2015). Effects of *Rosmarinus officinalis* L. as essential oils or in form of leaves supplementation on goat's production and metabolic statute. *Tropical Animal Health and Production*, 47(2), 451–457. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0721-3>
- Smeti, S., Tibaoui, S., Bertolín, J. R., Yagoubi, Y., Mekki, I., Joy, M., y Atti, N. (2020). Effects of myrtle (*Myrtus communis* L.) essential oils as dietary antioxidant supplementation on carcass and meat quality of goat meat. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105(3), 452–461. <https://doi.org/10.1111/jpn.13483>
- Stoica, C., y Cox, G. (2021). Old problems and new solutions: Antibiotic alternatives in food animal production. *Canadian Journal of Microbiology*, 67(6), 427–444. <https://doi.org/10.1139/cjm-2020-0601>

- Tarricone, S., Giannico, F., Ragni, M., Colonna, M. A., Rotondi, P., Cosentino, C., Seidavi, A., Tufarelli, V., y Laudadio, V. (2021). Effects of Dietary Extruded Linseed (*Linum usitatissimum*) and Oregano (*Origanum vulgare*) on Growth Traits, Carcass Composition and Meat Quality of Grigia di Potenza Suckling Kids. *International Journal of Agriculture and Biology*, 25(5), 1147–1152. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1775>
- University of Minnesota Libraries. (2015). Forestomach activity and function. *Vet Med: Applied GI Physiology- Supplemental Notes*. <https://open.lib.umn.edu/vetphysioapplied/chapter/forestomach-motility-and-function/>
- Ünlü, H. B., İpçak, H. H., y Kandemir. (2022). Effects of oregano essential oil and capsicum extract supplementation on slaughter characteristics, meat quality, and fatty acid composition of lambs. *South African Journal of Animal Science*, 52(6), 780–791. <https://doi.org/10.4314/sajas.v52i6.04>
- Villarreal-Arellano, H. R., Fuentes-Mascorro, G., Ramírez-Bribiesca, J. E., Torres-Hernández, G., Ricardi-De-la-cruz, C., y Vargas-López, S. (2020). Morphostructural variability in the pastoreña goat in different regions of the mixteca of México: A phenotypic study to establish the racial profile. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 52(2), 360–375.
- Wang, D., Li, C., Pan, C., Wang, Y., Xiang, H., Feng, Y., Yang, X., Chen, S., Zhao, Y., Wu, Y., Li, L., Kawai, Y., Yamazaki, K., y Yamaki, S. (2022). Antimicrobial activity and mechanism of action of oregano essential oil against *Morganella psychrotolerans* and potential application in tuna. *Lwt*, 165(May), 113758. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113758>
- Wang, H., Yu, Z., Gao, Z., Li, Q., Qiu, X., Wu, F., Guan, T., Cao, B., & Su, H. (2022). Effects of compound probiotics on growth performance, rumen fermentation, blood parameters, and health status of neonatal Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 105(3), 2190–2200. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20721>

Wu, J. P., Zhou, R., Liu, L. S., Casper, D. P., Lang, X., Wang, C. L., Zhang, L. P., Wei, S., y Liu, H. B. (2021). Growth performance, nutrient digestibility, blood parameters, and carcass characteristics by lambs fed an oregano and cobalt blend. *Animal*, 15(10). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100365>

Zamuner, F., Leury, B. J., & DiGiacomo, K. (2023). Review: Feeding strategies for rearing replacement dairy goats – from birth to kidding. *Animal*, 17(6), 100853. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100853>

12. ANEXOS



Figura 24. Condiciones experimentales de los cabritos Alpino Francés (1)



Figura 25. Condiciones experimentales de los cabritos Alpino Francés (2)



Figura 26. Medición de rechazos después de la toma matutina de sustituto lácteo



Figura 27. Cabritos Alpino Francés durante la alimentación con sustituto lácteo con AEO adicionado



Figura 28. Condiciones experimentales de los cabritos Alpino Francés (3)



Figura 29. Condiciones experimentales de los cabritos Alpino Francés (4)



Figura 30. Condiciones experimentales de los cabritos Alpino Francés (5)



Figura 31. Condiciones experimentales de los cabritos Alpino Francés (6)