



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA**

TESIS DE LICENCIATURA

**Actividad antihelmíntica del aceite de clavo (*Syzygium
aromaticum*) contra nematodos gastrointestinales en caprinos
naturalmente infectados**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE MÉDICO VETERINARIO
ZOOTECNISTA**

PRESENTA

Imelda Mentado Moreno

Director

Dr. Adrian Zaragoza Bastida

Codirector

Dra. Nallely Rivero Perez

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, mayo del 2026



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA**

TESIS DE LICENCIATURA

**Actividad antihelmíntica del aceite de clavo (*Syzygium aromaticum*)
contra nematodos gastrointestinales en caprinos naturalmente
infectados**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE MÉDICO VETERINARIO
ZOOTECNISTA**

PRESENTA

Imelda Mentado Moreno

Director

Dr. Adrian Zaragoza Bastida

Codirectora

Dra. Nallely Rivero Perez

Asesores

Dra. Rosa I. Higuera Piedrahita

Dr. Gabino M. López Rodríguez

Dr. Jorge Vargas Monter

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, mayo del 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Academic Area of Veterinary Medicine and Zootecnia

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, a 23 de abril del 2026

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuki del Rocío Islas Maldonado

Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a la pasante de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia **Imelda Mentado Moreno**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado "**Actividad antihelmíntica del aceite de clavo (*Syzygium aromaticum*) contra nematodos gastrointestinales en caprinos naturalmente infectados**", que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del Jurado:

PRESIDENTE Dra. Nallely Rivero Perez

SECRETARIO Dra. Rosa I. Higuera Piedrahita

VOCAL 1 Dr. Adrian Zaragoza Bastida

VOCAL 2 Dr. Gabino M. López Rodríguez

VOCAL 3 Dr. Jorge Vargas Monter

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dra. Maricela Ayala Martínez
Coordinadora de Programa
Educativo de Medicina Veterinaria
y Zootecnia.

"Amor, Orden y Progreso"



Av. Universidad No. 133, Col. San Miguel Huatengo, Santiago
Tulantepec. C.P. 43775, Hidalgo, Mexico.
Teléfono: 7717172000 Ext. 42105
alfonso_munoz@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y proporcionarme los conocimientos, herramientas y valores necesarios para desarrollarme en el área de medicina veterinaria y zootecnia.

A mis asesores y docentes, quienes con su experiencia, orientación y compromiso académico contribuyeron de manera fundamental en el desarrollo de este trabajo, guiándome durante todo el proceso de investigación. En especial al Dr. Adrián Zaragoza Bastida y a la Dra. Nallely Rivero Perez por su tiempo y paciencia.

A mis compañeros Juan José Hernández y Daniel Melo quienes me apoyaron en toda la parte práctica de este proyecto y por compartir conmigo este camino académico, haciendo de esta etapa una experiencia enriquecedora.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a todos los que me han ayudado a recorrer este camino que significa un gran logro en mi vida.

Dios, por qué alguna vez me dijeron no crees que si fuera para ti dios ya lo hubiera cumplido, pero solo me estaba preparando y no se equivocó, no creo que hubiera podido ser de otra manera, aunque me sentí perdida no me soltaste.

A mi hermana que nunca dejo de creer en mí y siempre me apoyo, nunca dejo que me rindiera y por eso estoy aquí el día de hoy.

A mis padres que me han apoyado en las decisiones que he tomado y que buscan la forma de estar presentes.

A CQP por su apoyo incondicional desde el día en que nos conocimos, por acompañarme en cada momento difícil y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Por qué un día tomaste mi maleta y me ayudaste a comenzar esta historia, sabiendo que en el camino podríamos perdernos. Gracias por ser parte fundamental de este logro.

A mis amigos, en especial a aquellos que han sido un apoyo constante a lo largo de este camino, por su compañía, motivación y por compartir conmigo los momentos más desafiantes y también los más gratificantes de esta etapa.

A la MVZ. Ingrid Garrido y al MVZ Miguel Ángel Servín por haber guiado mi camino en la medicina veterinaria desde el inicio de mis prácticas. Su enseñanza, paciencia y confianza fueron fundamentales en mi formación, no solo a nivel académico, sino también profesional y personal. Gracias por su confianza y las oportunidades que me han brindado.

Y de manera muy especial, a trezze y don gato, por su compañía silenciosa, por brindarme tranquilidad en los momentos de estrés y por recordarme la importancia de la paciencia y el cariño en cada etapa del proceso, porque cuando me siento sola ellos siempre me recuerdan que no es así.

Este logro también es de ustedes.

ÍNDICE GENERAL

I.	GLOSARIO DE TÉRMINOS	I
II.	LISTA DE FIGURAS Y CUADROS	II
III.	RESUMEN	III
IV.	ABSTRACT	IV
1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	ANTECEDENTES	3
2.1	Producción Caprina.....	3
2.2	Caprinos en México	3
2.3	Caprinos en el Estado de Hidalgo	5
2.4	Enfermedades causadas por nematodos gastrointestinales	5
2.5	<i>Haemonchus contortus</i>	7
2.6	Antihelmínticos convencionales	8
2.6.1	Benzimidazoles	8
2.6.2	Imidazotiazoles.....	8
2.6.3	Lactonas macrocíclicas	9
2.6.4	Salicilanilidas	9
2.7	Resistencia a antihelmínticos	9
2.8	Alternativas al uso de antihelmínticos	10
2.8.1	Aumentar la respuesta contra los NGI,	10
2.8.2	Reducir los NGI o agotar la fuente de contaminación del ambiente.....	11
2.8.3	Reducir la población de los NGI dentro del hospedero	12
2.9	Uso de plantas como alternativa	12
2.10	Empleo de aceites esenciales como una alternativa antihelmíntica	13

2.11	<i>Syzygium aromaticum</i>	13
2.11.1	Aceite esencial de <i>Syzygium aromaticum</i>	14
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
4.	JUSTIFICACIÓN.....	17
5.	HIPOTESIS	18
6.	OBJETIVOS.....	19
6.1.	Objetivo general	19
6.2	Objetivos específicos.....	19
7.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
7.1.	Material vegetal	20
7.2.	Obtención del aceite esencial	20
7.3.	Obtención de las muestras.	20
7.4.	Recuperación de huevo de nematodos.	21
7.5.	Evaluación de la inhibición de la eclosión.	21
7.6.	Recuperación de larvas L3.	22
7.7.	Evaluación de la actividad antihelmíntica en L3.....	22
7.8.	Análisis estadístico	23
8.	RESULTADOS	24
8.1.	Aceite esencial.....	24
8.2.	Morfología.....	24
8.3.	Inhibición de la eclosión.....	25
8.4.	Mortalidad larvaria	27
9.	DISCUSIÓN	29
10.	CONCLUSIÓN	33

I. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Termino	Significado
AE-CL	Aceite esencial de clavo.
CL50	Concentración letal 50
CL90	Concentración letal 90.
L1	Larva en primer estadio
L2	Larva en segundo estadio
L3	Larva en tercer estadio
NGI	Nematodos gastrointestinales
%IEH	Porcentaje de inhibición de la eclosión de huevo
%ML	Porcentaje de mortalidad larvaria

II. LISTA DE FIGURAS Y CUADROS

Figura 1. Ciclo de vida de NGI: huevo morulado (1), huevo embrionado (2), larva de primer estadio (3), larva de segundo estadio (4), larva de tercer estadio o larva infectiva (5) y larva de cuarto estadio o adulto (6) (Lopez-rodriguez <i>et al.</i> , 2023)	7
Figura 2. Alambique de cobre empleado para la extracción del aceite esencial	20
Figura 3. AE-CL, resultante del proceso de destilación por arrastre de vapor.....	24
Figura 4. A) <i>Nematodirus</i> spp. 10x, B) <i>Eimeria</i> spp.40x, C) <i>Haemonchus contortus</i> .10x.	24
Figura 5. Concentración efectiva CE ₅₀ y CE ₉₀ de AC-CL sobre huevos NGI.....	26
Figura 6. Concentración letal CL ₅₀ y CL ₉₀ de aceite de clavo sobre larvas NGI	28
Cuadro 1. Porcentaje de inhibición de la eclosión de huevos de nematodos de cabras naturalmente infectadas, expuestos a aceite esencial de <i>Syzygium aromaticum</i>	26
Cuadro 2. Porcentaje de mortalidad larvaria de NGI, expuestos a AE-CL (<i>Syzygium aromaticum</i>)......	28

III.RESUMEN

Las enfermedades causadas por nematodos gastrointestinales (NGI) en pequeños caprinos representan un problema a nivel mundial, ya que afectan significativamente su productividad y generan pérdidas económicas. El uso prolongado e inadecuado de antihelmínticos convencionales ha favorecido la aparición de resistencia, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas como los metabolitos secundarios de plantas, entre ellos los aceites esenciales. El objetivo del presente estudio fue evaluar la actividad antihelmíntica del aceite esencial de clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) frente a NGI de caprinos naturalmente infectados. El aceite se obtuvo por destilación por arrastre de vapor. Se analizaron muestras fecales mediante técnicas de flotación y McMaster para la identificación y cuantificación parasitaria. Los huevos recuperados se purificaron y utilizaron para evaluar la inhibición de la eclosión y la mortalidad larvaria en placas de 96 pozos, empleando ivermectina (5 mg/mL) y tiabendazol (0.1 mg/mL) como controles positivos. Se identificaron *Haemonchus* spp., *Nematodirus* spp., e *Eimeria* spp. El aceite esencial mostró un efecto ovicida dependiente de la concentración, alcanzando 100 % y 99.30 % de inhibición a 2 % y 1 %, respectivamente, comparable con los controles. En larvas L3, se observó hasta 100 % de mortalidad a 6 %, con eficacia similar a la ivermectina y superior al tiabendazol. En conclusión, el aceite esencial de *S. aromaticum* presentó actividad antihelmíntica *in vitro*, con mayor efecto ovicida que larvicida, por lo que podría considerarse una alternativa complementaria; sin embargo, se requieren estudios adicionales para confirmar su seguridad y eficacia en condiciones *in vivo*.

Palabras clave: Nematodos, cabras, *Syzygium aromaticum*, porcentaje de la inhibición de la eclosión, mortalidad larvaria, aceite esencial.

IV. ABSTRACT

Gastrointestinal nematode (GIN) infections in small ruminants represent a global problem, as they significantly affect productivity and lead to economic losses. The prolonged and improper use of conventional anthelmintics has promoted the development of resistance, driving the search for alternatives such as plant secondary metabolites, including essential oils. The aim of this study was to evaluate the *in vitro* anthelmintic activity of clove essential oil (*Syzygium aromaticum*) against GIN from naturally infected goats. The essential oil was obtained by steam distillation. Fecal samples were analyzed using flotation and McMaster techniques for parasite identification and quantification. Recovered eggs were purified and used to assess egg hatch inhibition and larval mortality in 96-well plates, using ivermectin (5 mg/mL) and thiabendazole (0.1 mg/mL) as positive controls. *Haemonchus* spp., *Nematodirus* spp., and *Eimeria* spp. were identified. The essential oil showed a concentration-dependent ovicidal effect, reaching 100% and 99.30% inhibition at 2% and 1%, respectively, comparable to the controls. In L3 larvae, up to 100% mortality was observed at 6%, with efficacy similar to ivermectin and higher than thiabendazole. In conclusion, *S. aromaticum* essential oil exhibited *in vitro* anthelmintic activity, with greater ovicidal than larvicidal effects, suggesting its potential as a complementary alternative; however, further studies are required to confirm its safety and efficacy under *in vivo* conditions.

Keywords: Nematodes, goats, *Syzygium aromaticum*, egg hatch inhibition, larval mortality, essential oil

1. INTRODUCCIÓN

La producción caprina representa una actividad socioeconómica de gran importancia, especialmente en regiones áridas y semiáridas donde otras especies presentan limitaciones productivas. (Tajonar *et al.*, 2021). A nivel mundial, la población caprina se estima en 1100 millones concentrándose principalmente en países en desarrollo, donde constituye una fuente esencial de proteína animal y sustento para comunidades rurales (Lu & Miller, 2019). En México, la caprinocultura tiene un papel relevante dentro del sector pecuario, con un inventario aproximado de 8.8 millones de animales. Los estados como Puebla, Oaxaca, San Luis Potosí, Guerrero y Zacatecas son los estados con mayor producción caprina (SADER, 2015), desarrollándose principalmente bajo sistemas extensivos y doble propósito con bajo nivel tecnológico (SIAP, 2023).

Para el estado de Hidalgo la producción caprina es de gran relevancia económica y social, especialmente en zonas semiáridas donde se concentra aproximadamente el 33.1% de la producción estatal (INEGI, 2023). Lidera el municipio de Metztitlán: con una producción de 70.8 toneladas seguido por Ixmiquilpan y Zimapan (SIAP, 2023). Se considera que uno de los principales problemas sanitarios que afectan la productividad de los caprinos son las enfermedades causadas por nematodos gastrointestinales (NGI) ya que ocasionan pérdidas económicas principalmente por la disminución en la ganancia de peso, reducción en la producción de leche, deterioro de la condición corporal y, en casos severos, mortalidad (Zvinorovaa *et al.*, 2016).

Las pérdidas productivas ocurren porque lo NGI comprometen la absorción de nutrientes ya que utilizan al caprino como principal fuente de obtención de alimento que les permite sobrevivir (Craig, 2018). Entre los NGI de mayor importancia destaca *Haemonchus contortus*, parásito hematófago que se localiza en el abomaso, reconocido por su alta prolificidad y capacidad para generar anemia severa. Su ciclo biológico directo y su adaptación a climas cálidos y húmedos favorecen su persistencia en sistemas extensivos, (Barrabí & Arece 2013).

Durante muchos años las enfermedades causadas por NGI se han tratado con el uso de antihelmínticos sintéticos sin embargo el mal uso de estos ha ocasionado que los parásitos presenten resistencia y reduciendo su eficacia y aumentando costos en la producción (Caracostantogolo *et al.*, 2012). Esta situación nos lleva a la búsqueda de estrategias que nos ayuden a reducir el uso de fármacos convencionales.

En la búsqueda de tratamientos alternativos se ha propuesto el uso de metabolitos secundarios de plantas, un ejemplo son los aceites esenciales, diversos estudios han comprobado la actividad biológica de estos destacando propiedades como bactericida, antiviral y fungicidas (Hotez *et al.*, 2008; Panda *et al.*, 2022). Entre las plantas con propiedades farmacológicas de interés destaca el clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) su interés radica en el alto contenido de eugenol que este contiene y que entre sus usos se le atribuyen propiedades antimicrobianas y antihelmínticas (efectos ovicidas y larvicidas) ya que ejercen su efecto en la membrana celular de los parásitos comprometiendo su viabilidad (Millezi *et al.*, 2014).

Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto antihelmíntico *in vitro* del aceite esencial de *Syzygium aromaticum* sobre nematodos gastrointestinales de caprinos y proponer su uso como alternativa natural a los antihelmínticos convencionales en programas de control parasitario.

2. ANTECEDENTES

2.1 Producción Caprina

La cría de cabras a nivel mundial tiene una gran importancia socioeconómica, principalmente en zonas rurales por la gran capacidad de adaptación que estas tienen a diversas condiciones ambientales (Tajonar *et al.*, 2021). La producción caprina resulta esencial para el suministro de carne, leche y queso en poblaciones vulnerables y de bajos ingresos en todo el mundo (Gispert *et al.*, 2019; Salgado *et al.*, 2023). Al ser una de las especies que mejor se adapta a regiones áridas, son de utilidad como fuente principal de proteína para los habitantes de estas regiones en donde los recursos vegetales son limitados en calidad y cantidad (Zapata & Mellado, 2021).

Las características antes mencionadas son atribuidas a la rusticidad de los caprinos que las hace capaces de rendir en condiciones desfavorables además de la conformación morfológica, como alta capacidad pulmonar (determinada por su perímetro torácico) y patas largas y fuertes, apropiadas para los largos periodos de pastoreo que experimentan (Dominguez *et al.*, 2018), requerimientos metabólicos bajos y reducida masa corporal. A nivel nutricional son selectivas en cuanto al consumo de plantas más nutritivas entre las opciones disponibles, rechazando las menos nutritivas, lo que resulta en la ingesta adecuada de nutrientes y reduciendo la ingesta de metabolitos secundarios (Egea *et al.*, 2016).

La población mundial de cabras se estima en 1100 millones, concentrando principalmente en Asia, África, Europa y América Latina. China, India, Pakistán y Bangladesh lideran el número de cabras, mientras que en América Latina, Brasil y México lideran. (Lu & Miller, 2019).

2.2 Caprinos en México

Los caprinos llegaron a México hace más de 400 años, estos fueron introducidos por los españoles. La adaptación del ganado caprino fue tan buena permitiendo que se expandieran en gran parte del territorio nacional, volviéndose una actividad rentable (SADER, 2015). Inicialmente las razas que trajeron los españoles incluían a la Murciano-granadina (Granadina en México) y otras razas como la Blanca Celtibérica (Martínez *et al.*, 2014).

La población caprina en México hasta el año 2023 se conforma por 8,840,467,(SIAP), destacan razas como la Alpina Francesa, Saanen, Toggenburg, LaMancha, Nubia, Boer y sus cruces que son las que principalmente se utilizan en la producción. Los estados con mayor población caprina son: Puebla (15.4%), Oaxaca (12%); San Luis Potosí (10.5%); Guerrero (7.9%), y Zacatecas (6.1%), (SADER, 2015).

En México la mayor parte de la ganadería caprina es doble propósito (carne y leche), como principal sistema de producción destaca el sistema extensivo en un 70% el cual se encuentra ampliamente distribuido en su mayor parte en zonas áridas y semiáridas y en el que el uso de la tecnología es mínimo o inclusive nulo así como tampoco se hace un buen manejo de los pastizales ya que suelen ser zonas donde prevalece la pobreza, por lo que se aprovecha el tipo de vegetación y por último con un 25% la producción es en sistemas intensivos y semiintensivos (Lu & Miller, 2019; Robles *et al.*,2020) .

El propósito productivo (leche o carne) se encuentra distribuido en diferentes zonas geográficas. Zacatecas es el principal estado productor de carne en canal de caprino y la obtención de la carne puede utilizarse para venta y/o autoconsumo (SADER, 2015)., en regiones como Nuevo león, Región Lagunera y San Luis Potosí, la finalidad es ofrecer platillos a base de cabrito (la cría de la cabra de hasta 4 meses de edad y menor a 10 kilos) como el tradicional cabrito, estados como Jalisco y zacatecas con, la birria, el mole de caderas en Puebla, Guerrero y Oaxaca, y la barbacoa en el Estado de México, Hidalgo y la Ciudad de México (Tajonar *et al.*,2022).

En cuanto a la producción de leche de cabra esta se utiliza para la elaboración de cajeta dulces, natillas y obleas en donde el principal estado productor es Guanajuato, además se aprovecha la piel del caprino para la realización de calzado fino (la producción de quesos frescos y tipo gourmet en Veracruz, Guanajuato, Región Lagunera y Querétaro (Anzaldo, M. 2020).

Coahuila lidera como principal estado de producción láctea con un 37.2%, seguido de Durango, que representa el 21%, en tercer lugar, se encuentra Guanajuato, con 16.8% y con menores porcentajes de producción se encuentra los estados de Nuevo León, con 9.9%, Jalisco, que presenta 3.7% y finalmente Zacatecas, con 3.2%. (SADER, 2021).

2.3 Caprinos en el Estado de Hidalgo

La producción caprina en el estado de Hidalgo representa una actividad pecuaria de gran relevancia económica y social, especialmente en zonas semiáridas con 9.74% de la superficie estatal que resulta apta para el aprovechamiento de la vegetación natural de los caprinos (INEGI, 2023).

Con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) correspondientes al año 2022, estos son los principales municipios productores de carne de caprino en Hidalgo y concentran aproximadamente el 33.1% de la producción estatal. Lidera el municipio de Metztitlán: con una producción de 70.8 toneladas, Ixmiquilpan: ocupa el segundo lugar, con una producción de 63.8 toneladas, Zimapán: se ubica en tercer con una producción de 52.2 toneladas, Cardonal y Tasquillo destacan con una producción de 43.2 y 27.8 toneladas respectivamente.

En cuanto a la producción de leche caprina, Tecozautla y Nopala de Villagrán se describen en este rubro con 57,189 y 3,928 litros de leche respectivamente en el 2020 (SIAP, 2020).

2.4 Enfermedades causadas por nematodos gastrointestinales

Las enfermedades causadas por nematodos gastrointestinales en pequeños rumiantes representan una problemática a nivel mundial ya que afecta de manera significativa la productividad del hospedador. Aquellos rumiantes que se encuentran en pastoreo sin duda están más expuestos a estos parásitos (Charlier *et al.*, 2020; Fitzpatrick, J.L, 2013) que afectan de manera negativa al crecimiento, la fertilidad el peso y la calidad de la canal y el aumento en la mortalidad, se considera una de las causas de pérdidas de mayor impacto económico en los sistemas de producción de pequeños rumiantes (Barrabí & Arece 2013).

Si bien como lo menciona Domínguez y colaboradores (2004), los caprinos son animales caracterizados por su rusticidad, sin embargo, la productividad de estos se ven afectados por diferentes factores, como lo son una alimentación deficiente, limitaciones en revisiones por médicos veterinarios y una alta incidencia en enfermedades parasitarias.

De acuerdo a Rosaningo & Gruner (2009) ,la principal causa de pérdidas económicas es por los caprinos parasitados ya que disminuyen el consumo de alimento reduciendo así la

eficiencia alimentaria lo que se ve reflejado en una pérdida de aproximadamente 4 a 6 kg de peso vivo por animal, esto si lo compramos con aquellos caprinos que tienen un programa y seguimiento de desparasitación adecuada, en cuanto a producción lechera se estiman pérdidas del 20% de la producción total diaria de los animales que se encuentran parasitados (Zvinorovaa *et al.*., 2016).

Las pérdidas productivas ocurren porque lo NGI comprometen la absorción de nutrientes ya que utilizan al caprino como principal fuente de obtención de alimento que les permite sobrevivir (Craig, 2018), afectando el desempeño productivo del caprino ya que estos se ubican en diferentes partes del tracto digestivo de los rumiantes (por lo general, se habitan en abomaso, intestino delgado y, en menor medida , al intestino grueso), (Bricarello *et al.*., 2005) de manera general las enfermedades pueden ser mixtas, por uno o más nematodos causando cuadros clínicos que serán o no severos , lo que depende el estado nutricional del animal, signos clínicos que pueden presentar son diarreas, anorexia y anemia (Badaso & Addis 2015).

Los NGI más comunes en caprinos parasitan diferente sitio anatómico En el abomaso predominan *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia*, *Trichostrongylus axei* y *T. colubriformis*, en el intestino delgado son más comunes *Bunostomum*, *Cooperia* spp., *Nematodirus* y *Trichostrongylus* spp., y en el intestino grueso destacan *Chabertia*, *Oesophagostomum* y *Trichuris* (López *et al.*, 2013; Mondragón *et al.*, 2019). Esta distribución anatómica explica los distintos cuadros clínicos y el impacto productivo que estos parásitos pueden generar en los caprinos (Badaso & Addis 2015).

El ciclo de vida de los parásitos antes mencionados consiste en; los huevos son depositados por las hembras y son excretados en las heces, estos eclosionan cuando se encuentran en temperatura y humedad adecuadas (> 25 °C y 60-80 %) (University of Guelph, 2019), pasando a larva 1 (L1) la cual se alimenta principalmente de materia orgánica que obtiene de las heces, posteriormente mudan a larva de segundo estadio (L2) y continúan alimentándose para mudar a larva tercer estadio (L3) que es la forma infectante, esta conserva su cutícula que cumple la función de ser una barrera protectora externa haciéndola menos susceptible a condiciones ambientales lo que la hace sobrevivir más tiempo (inclusive meses a diferencia de L1 y L2). Ya sea de forma inmediata o tardía L3 migra fuera de las heces en condiciones

adecuadas (lluvia, inundaciones, rocío intenso) y serán ingeridas por el huésped durante el pastoreo. Las larvas se expulsan en el rumen y se dirigen a su órgano diana donde penetran la mucosa de esta manera mudan a larvas de cuarto estadio después de 1-4 días (L4). En condiciones normales de desarrollo, L4 migran de nuevo al lumen y mudan a la quinta etapa del ciclo de vida dentro de 2-3 días (adulto inmaduro), que luego se convierte en el adulto maduro reproductivo para completar el ciclo de vida (McRae *et al.*, 2014; Miller. *et al.*, 2012).

En condiciones ambientales extremas L4 entra en un estado de desarrollo detenido (hipobiosis) en la mucosa gastrointestinal y puede mantenerse así hasta por 4 meses, momento en el que reanudan su desarrollo. El final de esta etapa coincide con cambios en el clima (primavera), lo que contribuye a su supervivencia (Pugh & Baird 2002).

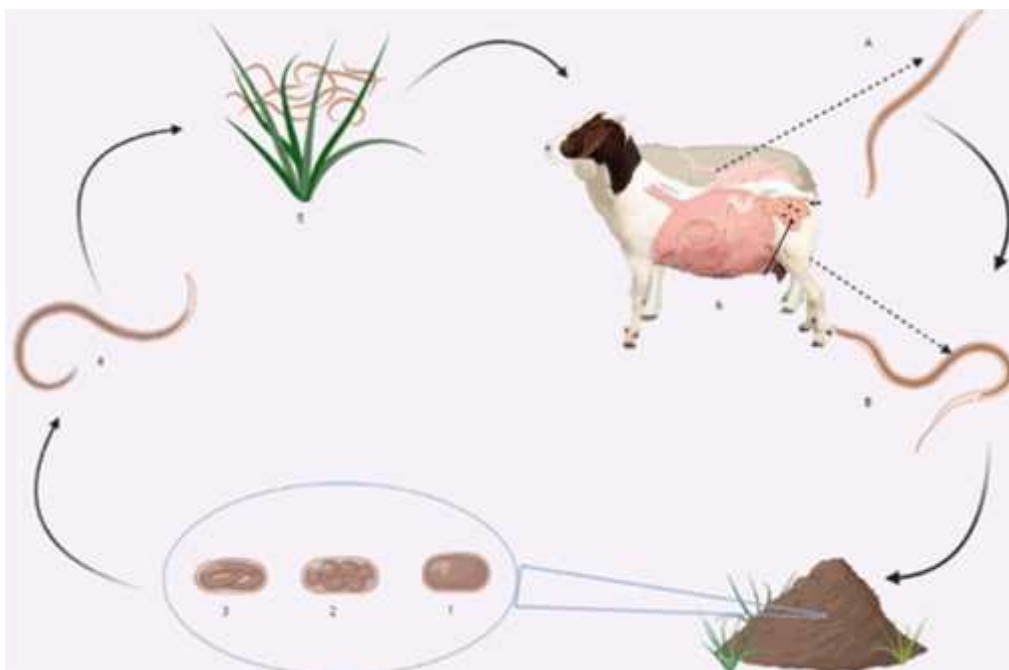


Figura 1. Ciclo de vida de NGI: huevo morulado (1), huevo embrionado (2), larva de primer estadio (3), larva de segundo estadio (4), larva de tercer estadio o larva infectiva (5) y larva de cuarto estadio o adulto (6) (Lopez-rodriguez *et al.*, 2023)

2.5 *Haemonchus contortus*

Se considera que uno de los principales parásitos presente en cabras y que se vincula pérdidas de gran impacto económico y de mayor patogenicidad en el mundo es *Haemonchus contortus*

(HC) (Adducci *et al.*, 2022) al ser un parásito hematófago y a su alta prolificidad. Este predomina en climas cálidos y húmedos (Arsenopoulou *et al.*, 2021) pero se ha adaptado a regiones áridas y semiáridas, se ha demostrado que HC es el agente causal que conduce al 29% de mortalidad, por lo que se plantea la problemática que generan los estróngilos para la salud del ganado (Chikweto *et al.* 2018).

Se atribuye la siguiente signología a HC; pérdidas de peso, anorexia, disminución de la condición corporal, anemia, debilidad, emaciación, edema submandibular, susceptibilidad a otras enfermedades y alta mortalidad en animales jóvenes (Zvinorova *et al.*, 2016).

2.6 Antihelmínticos convencionales

El control de nematos gastrointestinales se ha realizado durante décadas de manera rutinaria utilizando antihelmínticos sintéticos los cuales se clasifican de acuerdo con su mecanismo de acción, entre los más utilizados se encuentra; Benzimidazoles (BZ), Lactonas Macroclínicas (LM), Agonistas colinérgicos (imidazotiazoles) y Salicilanilidas (Lanusse C., *et al.* 2016).

2.6.1 Benzimidazoles

Dentro de esta familia se encuentra el febendazol, albendazol y tiabendazol que actúan uniéndose a la subunidad β de la proteína tubulina inhibiendo la formación de microtúbulos, lo que altera la estructura del citoesqueleto y con esto las principales funciones de estos parásitos (división celular, motilidad celular, secreción celular, absorción de nutrientes y transporte intracelular, lo que provoca parálisis y muerte (Köhler, 2001).

2.6.2 Imidazotiazoles

Los Imidazotiazoles actúan como agonistas colinérgicos, ya que ejercen su acción sobre los receptores nicotínicos de acetilcolina en la unión neuromuscular de los nematodos, lo que provoca que se abran los canales iónicos y que entre el sodio. Este proceso ocasiona la despolarización de las células musculares, generando una contracción continua que termina en una parálisis espástica facilitando la eliminación del parásito. Estos fármacos son principalmente eficaces contra las formas adultas de diversos nematodos gastrointestinales, entre ellos *Haemonchus*, *Ostertagia*, *Cooperia*, *Nematodirus*, *Bunostomum*, *Oesophagostomum*, *Chabertia* y *Dictyocaulus* (Santos *et al.*, 2019).

2.6.3 Lactonas macrocíclicas

Las lactonas macrocíclicas (LM), incluyen a las avermectinas y milbemicinas, que actúan como agonistas selectivos de los canales de cloro dependientes de glutamato presentes en las neuronas y en la musculatura faríngea de los nematodos. Al unirse a los canales, incrementan la permeabilidad de la membrana celular al ion cloro, lo que provoca una hiperpolarización de las células musculares y nerviosas del parásito lo que ocasiona su inmovilización (Kotze, 2016).

2.6.4 Salicilanilidas

Las Salicilanilidas pertenecen al grupo químico derivados del ácido salicílico destacando el closantel que es efectivo para el tratamiento contra *H. contortus* en pequeños rumiantes y una alternativa para el uso en nematodos resistentes a ivermectina, benzimidazol, levamisol y al morantel. El mecanismo de acción se basa en el desacoplamiento de la fosforilación oxidativa lo que provoca una disminución en la producción de ATP y conduce a la muerte del parásito. (Gloeckner *et al.*, 2010).

De acuerdo a los autores Anziani y Fiel, 2015 y Cooper *et al.*, 2016 los antihelmínticos de manera general en caprinos se utilizan en dosis que son recomendadas para ovinos y bovinos. Sin embargo en los caprinos, la absorción de estos fármacos es menor que en otros rumiantes, los metabolizan y eliminan más rápida. Los informes de resistencia a los antihelmínticos han aumentado en todo el mundo, resultado del uso frecuente e incorrecto de estos (Gilleard *et al.*, 2021).

2.7 Resistencia a antihelmínticos

Las enfermedades parasitarias y la aparición de resistencia a los antihelmínticos (RA) son problemas de importancia mundial tanto para la salud animal y humana (Harhay *et al.* 2010). Resulta en un problema persistente y que va en aumento (Molento, 2011). Se ha documentado en granjas del trópico húmedo de México la multirresistencia a BZ, ivermectina, levamisol en parásitos como *Haemonchus* (Herrera, *et al.*, 2017).

La RA se define como la capacidad que adquiere cierta población de parásitos de tolerar dosis tóxicas de fármacos que de manera general causarían inhibición del crecimiento o la muerte

para otras poblaciones de la misma especie (Suarez, 2001). De manera inicial el parásito inicialmente es susceptible a la acción terapéutica de un fármaco, y con el paso del tiempo dejan de serlo al ocurrir de modificaciones genéticas motivo de importancia ya que estas modificaciones resultan heredables siendo la característica más importante de este fenómeno (Martínez, 2014; Medina *et al* 2014).

La RA se puede presentar como; resistencia múltiple que es aquella cuando los parásitos son expuestos a grupos de antihelmínticos diferentes con mecanismos de acción distintos y resultan resistentes y la resistencia cruzada se presenta cuando el parásito desarrolla resistencia a otros fármacos que comparten un mecanismo de acción similar aunque no se hayan utilizado previamente (Marquez, 2003) (Torres *et al.*, 2007).

La resistencia antihelmíntica (RA) se describe en la mayoría de las especies de nematos de pequeños rumiantes, señalando a *HC* como el principal (Jackson & Coop, 2000; Kaplan, 2004).

2.8 Alternativas al uso de antihelmínticos

Al presentarse resistencia antihelmíntica y la toxicidad que estos generan en el medio ambiente surge la necesidad de controlar las nematodiosis con nuevas estrategias que principalmente se basen en usar de manera racional los fármacos convencionales, presentando también como alternativa los antihelmínticos botánicos. (Caracostantogolo *et al.*, 2012). De acuerdo a Hoste *et al.* (1997) el control de nematodiosis se puede basar utilizando tres principios:

2.8.1 Aumentar la respuesta contra los NGI,

Administrar una nutrición adecuada para lograr que los animales se encuentren en equilibrio metabólico y homeostático (Torres-Acosta *et al.*, 2021), mejorando la alimentación en cabras aumenta su capacidad para tolerar nematodos gastrointestinales (resiliencia) así mismo fortalece el sistema inmune para eliminar a los NGI (resistencia) (Hoste *et al.*, 2006). Lo que es relevante en la época de lluvias ya que abundan las fases infectantes de NGI en el medio.

Ofrecer una dieta enriquecida con proteína y energía permite fisiológicamente disminuir daños fisiopatológicos al mejorar la resiliencia contra NGI generando ganancia de peso y

reducción de cargas parasitarias La suplementación dietética con proteína y energía permitido un mantenimiento de la eritropoyesis activa lo que nos ayuda a compensar la pérdida de sangre, la producción de moco en las células caliciformes, o la producción de eosinófilos y mastocitos, lo que mejora la resiliencia contra los NGI y mejora la ganancia de peso e incluso reducir las cargas parasitarias (Gárate-Gallardo *et al.*, 2015). Sin estos requerimientos nutricionales ocurre una disbiosis lo que genera nematodosis exacerbadas (Cortés *et al.*, 2020).

2.8.2 Reducir los NGI o agotar la fuente de contaminación del ambiente

Partiendo del ciclo de NGI se toma en cuenta que el 95% de estos se encuentran, en las heces los huevos y la fase larvaria 1 y 2, en pastos L3. Aproximadamente 5% restante de la población de NGI continua el ciclo dentro de los hospederos en estadios de L4, L5 y adultos (Bowmann, 2019). Agotar la fuente de infección significa mantener los pastos con cargas parasitarias bajas lo que se puede manejar con el descanso de los pastos (planear con el comienzo de las lluvias) (Navarre, 2019).

El uso alternativo de la tierra cultivo, así como la renovación anual o bianual de pastos (Navarre, 2019), con esto se interrumpe el ciclo de los NGI al no tener hospederos. Dentro de la rotación de pastos se encuentra el Pastoreo rotacional, que brinda un descanso a los pastos ayudando a su recuperación y la exposición prolongada a la luz solar permite que la desecación y muerte de L3 (Burke & Miller 2020). También se puede realizar pastoreo mixto; ya que se ha observado que en el pastoreo entre caprinos y ganado bovino, se presenta una eliminación menor de huevos por gramo de heces (Bucher *et al.*, 2021),

Otra forma de reducir lo NGI es la colecta de heces en las praderas que resulta una alternativa muy utilizada en criaderos de equinos lo que disminuye la fuente de contaminación. Ha sido poco utilizada entre productores de pequeños rumiantes, sin embargo, es un beneficio para los productores ya que puede ser vendido como estiércol y ser utilizado como abono (Corbett *et al.*, 2014).

El control biológico es una estrategia para disminuir las poblaciones de NGI en las praderas que consiste en utilizar antagonistas naturales que reducen el número de larvas a un nivel no perjudicial para los hospedadores. Las alternativas más utilizadas están los artrópodos

coprófagos y los nematófagos, como ácaros, nematodos y hongos micromicetos (Aguilar-Marcelino *et al.*, 2020).

2.8.3 Reducir la población de los NGI dentro del hospedero

Se sugiere el uso limitado de AH para aquellas etapas fisiológicas, o aquellos individuos del rebaño, que realmente los necesitan. Realizar un uso racional de AH que se base en identificar la distribución de cargas parasitarias en la población realizando estudios coproparasitoscópicos, de esta manera podemos identificar a la población más susceptible, además de evaluar signos clínicos como, actitud, producción láctea, ganancia de peso, color de las mucosas y la condición corporal utilizando el método de FAMACHA© y mediante esto realizar desparasitación selectiva para aquellos individuos que realmente lo necesiten. (Torres-Acosta *et al.* 2014).

Se propone el uso de antiparasitarios no convencionales que provienen de plantas medicinales como fuente alternativa para el control de estos parásitos. La fitoterapia es una propuesta que se ha estudiado con el fin de controlar los NGI de los pequeños rumiantes (Almeida *et al.*, 2006).

2.9 Uso de plantas como alternativa

A lo largo de la historia plantas como el clavo, el orégano, la menta, el tomillo y la canela se han empleado en la industria alimenticia como conservador y en la medicina tradicional, principalmente por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Numerosos estudios confirman las propiedades antibacterianas, antifúngicas, antivirales y anticancerígenas de las plantas especiadas (Shan *et al.*, 2005).

Diversos estudios respaldan que los compuestos de plantas (metabolitos secundarios), como taninos condensados, flavonoides, esteroides, terpenoides, alcaloides y saponinas representan una opción viable como antihelmíntico (Hoste *et al.*, 2006; Vargas *et al.*, 2014), ya que se ha demostrado que afectan en los procesos vitales del parásito siendo una alternativa en el control de los NGI en pequeños rumiantes (Medina *et al.*, 2014).

Los metabolitos secundarios de las plantas pueden actuar mediante diferentes mecanismos, como la inhibición de las enzimas de eclosión de huevos, la competencia con receptores de

membrana y la unión a proteínas de la membrana (Chan *et al.*, 2016). Los efectos beneficiosos de las plantas medicinales se atribuyen a combinación de metabolitos secundarios presentes en ellas (Parekh *et al.*, 2005).

2.10 Empleo de aceites esenciales como una alternativa antihelmíntica

Se define aceite esencial (AE) como un producto oloroso el cual se compone de metabolitos secundarios y se pueden extraer de material vegetal (hojas, flores, tallos, frutos, vainas, semillas, raíces y cortezas) y pueden ser obtenidos por diferentes métodos como hidrodestilación, destilación al vapor o procesos mecánicos (Cadby *et al.*, 2002).

Estas mezclas de metabolitos incluyen alcoholes aromáticos, ácidos, ésteres, compuestos fenólicos, cetonas, aldehídos e hidrocarburos. Componentes terpénicos o terpenoides constituyen hasta el 30 % del aceite (Bakkali *et al.*, 2008).

Los AE han demostrado efecto ovicida y larvicida en diferentes estudios *in vitro*, (Millezi *et al.*, 2014), debido a su carácter lipofílico, los AE tienen la capacidad de penetrar las membranas e inclusive la barrera hematoencefálica de los parásitos. Asimismo, estos compuestos favorecen la generación de estrés oxidativo en los parásitos, lo que aumenta la producción de óxido nítrico en el hospedador infectado y disminuyen la capacidad del parásito para defenderse frente a las especies reactivas de oxígeno, lo que conduce a un aumento de la peroxidación lipídica. En conjunto, estos mecanismos ocasionan alteraciones severas en la integridad de las membranas celulares (García *et al.*, 2017; Yoo *et al.*, 2005).

En diversos estudios se ha comprobado la actividad biológica de los AE destacando propiedades como bactericida, antiviral y fungicidas (Hotez *et al.*, 2008; Panda *et al.*, 2022), también se han documentado que propiedades analgésicas, sedantes y antiinflamatorias. Además, sus componentes son ampliamente empleados en la industria de alimentos, cosmética, en la elaboración de perfumes y productos de higiene dental (Becker, *et al.*, 2020; Lustigman *et al.*, 2012; Panda *et al.*, 2022).

2.11 *Syzygium aromaticum*

Syzygium aromaticum es un árbol de tamaño mediano (8-12 m), comúnmente conocido como clavo de olor que pertenece a la familia *Myrtaceae*, originario de las islas Molucas, en el este

de Indonesia. La corteza del tronco y de las ramas principales es grisácea y lisa, con hojas en forma de lanza y flores amarillentas, con un fuerte olor fenólico y un sabor acre, las yemas florales constituyen la parte comercializada de este árbol, y comienza después de cuatro años de plantación. Estas se recolectan en la fase de maduración, antes de la floración. (Kamatou *et al.*, 2012; Singh *et al.*, 2012).

El principal uso del clavo de olor es para condimentar alimentos, pero destaca como planta medicinal, su principal uso es para aliviar el dolor de muela. En Oaxaca y Guanajuato, se usa calentando cierta cantidad de clavos machacados para posteriormente aplicarlos sobre la muela que presenta dolor, se reporta que en Morelos suele usarse como tratamiento contra las caries (INPI, 2021).

El clavo es una importante planta medicinal debido a su amplio espectro de efectos farmacológicos (antioxidante, antiespasmódico, antibacteriano, antiparasitario y antiviral). También se utiliza como analgésico, antiespasmódico y antiséptico general en la práctica odontológica. (Barceloux 2008; Jirovetz *et al.*, 2006).

2.11.1 Aceite esencial de *Syzygium aromaticum*

El clavo de olor es considerado una fuente natural de compuestos fenólicos, entre los que se incluyen flavonoides, ácidos hidroxibenzoicos, ácidos hidroxicinámicos y derivados del hidroxifenilpropano. Representa una de las fuentes más ricas de compuestos fenólicos como el eugenol, el acetato de eugenol y el ácido gálico, el eugenol destaca como el principal metabolito bioactivo, encontrándose en concentraciones que van de entre 9,381.70 y 14,650.00 mg por cada 100 g de material vegetal fresco. Aproximadamente, el 89 % del aceite esencial de clavo es eugenol, y entre el 5 % y el 15 % es acetato de eugenol y β -cariofileno (Jirovetz *et al.*, 2006; Neveu *et al.*, 2010).

El eugenol se encuentra en diferentes plantas como *Myristica fragrans* Houtt (Nuez moscada), *Cinnamomum verum* J. (canela verdadera), *C. loureirii* Nees (Canela de Saigón), *Ocimum gratissimum* Forssk (Albahaca) y *Ocimum basilicum* (Albahaca dulce). Sin embargo, *Syzygium aromaticum* se considera la principal fuente natural de este compuesto y es obtenido mediante destilación al vapor (Barceloux, 2008; Zheng *et al.*, 1992).

El aceite que se extrae del clavo es de interés farmacológico por la cantidad de eugenol que contiene y que en la medicina tradicional se ha utilizado como tratamiento para trastornos digestivos, como antiséptico, analgésico, antibacteriano, antifúngico, anestésico, anticancerígeno, antidiabético, antioxidante, antiinflamatorio e insecticida (Kwete, 2017).

Diversos estudios mencionan que el eugenol es un agente antiparasitario con efectos potenciales sobre el crecimiento, viabilidad y morfología de diferentes parásitos, como *Giardia lamblia*, *Leishmania donovani* y *Trypanosoma cruzi* (De Moraes *et al.*, 2014; Machado *et al* 2011).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción caprina es una actividad de gran importancia socioeconómica principalmente en zonas áridas y semiáridas en donde las condiciones ambientales y los recursos son limitados, por lo que adoptan el sistema extensivo de producción, sin embargo, se enfrentan a pérdidas económicas significativas debido a la presencia de parásitos gastrointestinales lo que ocasiona la disminución en la producción, retraso de crecimiento e incluso mortalidad.

Las enfermedades causadas por nematodos gastrointestinales representan un desafío ya que suelen presentarse de manera simultánea por uno o más parásitos causando cuadros clínicos de gravedad, en cuanto al control de estos parásitos se ha visto afectado por el uso repetido e indiscriminado de antihelmínticos convencionales disminuyendo su efectividad y favoreciendo la resistencia de estos parásitos a diferentes principios activos farmacológicos además de generar residuos químicos en los productos finales (carne y/o leche) y efectos negativos sobre el medio ambiente. Situación que limita las opciones antihelmínticas lo que aumenta los costos de producción, generando pérdidas y debilitando las producciones de estas zonas.

Ante esta problemática, surge la necesidad de buscar alternativas naturales para el control de parásitos gastrointestinales y que estos no presenten los inconvenientes asociados a los fármacos convencionales. Parte de estas alternativas se encuentran en el uso de aceites esenciales de plantas medicinales ya que entre la composición de estas se encuentran metabolitos secundarios con potencial antiparasitario. Uno de ellos es el aceite esencial de *Syzygium aromaticum* (clavo de olor) que ha demostrado propiedades antimicrobianas, antifúngicas y antihelmínticas, que son atribuidas principalmente a su alto contenido de eugenol.

4. JUSTIFICACIÓN

El control de las parasitosis se ha realizado durante años de manera rutinaria con el uso de antihelmínticos sintéticos. Sin embargo, en muchos casos se realizan de manera inadecuada, sobre dosificando o de manera generalizada sin un diagnóstico previo, esto favorece a la resistencia parasitaria. Generando impacto negativo en los productos finales (carne y /o leche) así como en el medio ambiente, lo que nos lleva a explorar alternativas naturales, seguras y sostenibles que contribuyan al control de nematodos gastrointestinales sin los inconvenientes asociados a los fármacos convencionales, propiedades que podemos encontrar en los aceites esenciales de plantas medicinales ya que han cobrado relevancia por la presencia de metabolitos secundarios con potencial antiparasitario. Dentro de ellos, el aceite esencial de *Syzygium aromaticum* (clavo de olor) que se podría representar un tratamiento alternativo natural a un antihelmíntico convencional.

5. HIPOTESIS

El aceite esencial de clavo (*Syzygium aromaticum*) presentará actividad antihelmíntica *in vitro* contra nematodos gastrointestinales de caprinos naturalmente infectados.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

Determinar la actividad antihelmíntica del aceite esencial de clavo (*Syzygium aromaticum*) contra nematodos gastrointestinales obtenidos de caprinos naturalmente infectados, mediante ensayos *in vitro*, para proponerlo como posible alternativa de tratamiento en unidades de producción caprina.

6.2 Objetivos específicos

1. Identificar morfológicamente de las poblaciones de nematodos gastrointestinales presentes en caprinos.
2. Determinar el efecto ovicida del aceite esencial de *Syzygium aromaticum* sobre nematodos gastrointestinales en caprinos (*in vitro*).
3. Determinar el efecto larvicida del aceite esencial de *Syzygium aromaticum* sobre larvas L3 de nematodos gastrointestinales en caprinos (*in vitro*).

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Material vegetal

El clavo de olor (*Syzygium aromaticum*), empleado como material vegetal en el presente estudio, es una especie de uso comercial y fue obtenido en un mercado local ubicado en el municipio de Tulancingo, Hidalgo, México.

7.2. Obtención del aceite esencial

La extracción del aceite esencial se llevó por medio de la técnica de arrastre de vapor, empleando un equipo de destilación tipo alambique (figura 2). Se utilizaron 250 gr de material vegetal (clavo de uso comercial), 2.5 litros de agua destilada.



Figura 2. Alambique de cobre empleado para la extracción del aceite esencial

7.3. Obtención de las muestras.

Se realizó un muestreo en 25 caprinos de diferentes razas (alpina, Nubia y criolla), procedentes del municipio de Epazoyucan, Hidalgo, con edades desde 0.5 meses a 6 años, las cuales han tenido desparasitaciones con productos comerciales como albendazol, levamisol y closantel, al momento de tomar la muestra no se había realizado la desparasitación al menos por un periodo de 6 meses.

Se colectaron heces directamente del recto de caprinos, las cuales fueron identificadas y transportadas con refrigerantes al laboratorio de bacteriología de ICAP-UAEH. La identificación de los nematodos gastrointestinales y la cuantificación de huevos por gramo

de heces (HPG) se realizó mediante la técnica de flotación y McMaster respectivamente, de acuerdo a la metodología descrita por (Rivero-Perez *et al.*, 2019).

7.4. Recuperación de huevo de nematodos.

Las muestras que presentaron un HPG superior a 1500 fueron homogenizadas; posteriormente, se tomaron 50 g de heces, las cuales se lavaron con agua destilada y filtraron a través de una serie de tamices de 200, 100, 75 y 37 μm . Este procedimiento tuvo como finalidad obtener una suspensión concentrada de huevos en el último tamiz, eliminando en su mayoría el contenido vegetal y la materia orgánica.

El material retenido en el último tamiz fue lavado con 6 mL de solución salina saturada en un tubo falcón de 15 mL y centrifugado a 3000 rpm/ 3 min.

El sobrenadante fu eliminado y se recuperaron los huevos, los cuales se sometieron a lavados sucesivos con agua destilada hasta obtener huevos libres de residuos orgánicos, siguiendo la metodología descrita por (Rivero-Perez *et al.*, 2019). Posteriormente, se preparó una suspensión de huevos limpios ajustada a una concentración de 150–200 huevos en 50 μL . Dicha concentración se verificó mediante conteo directo en microscopio óptico, cuantificando el número de huevos presentes en 10 alícuotas de 5 μL cada una.

7.5. Evaluación de la inhibición de la eclosión.

Se utilizó una placa de microtitulación de 96 pozos, en la cual se colocaron 96 μL de agua destilada que contenían aproximadamente 150 huevos por pozo. Posteriormente, se adiciono las concentraciones a evaluar del aceite esencial *Syzygium aromaticum* (2 a 0.01%), se obtuvo un volumen final de 100 μL por pozo, con cuatro repeticiones por tratamiento. Como control positivos, se utilizaron ivermectina (5 mg/mL) y tiabendazol (0.1 mg/mL), mientras que el control negativo consistió en agua destilada.

La placa fue incubada a 30 °C durante 48 horas en una cámara húmeda. Transcurrido este periodo, se realizó la lectura de la placa mediante la observación en microscopio óptico utilizando el objetivo 4 $\times$. Se analizaron 10 alícuotas de 10 μL por pozo, y se realizó el conteo de huevos y larvas en cada alícuota con el fin de determinar el número total de huevos y larvas presentes.

El porcentaje de inhibición de la eclosión de huevos se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de inhibición de la eclosión de } \text{huevos} = \frac{L1}{L1 + \text{Huevo}} * 100$$

Donde L1 es igual a larva 1

7.6. Recuperación de larvas L3.

Se realizó un coprocultivo con aquellas muestras de heces que presentaron más de 1500 HPG; este consistió en la mezcla de heces con agua destilada en un recipiente de plástico, al cual se le agrego espuma de poliuretano, este se cubre con papel aluminio el cual debe humedecerse diariamente con agua destilada, hasta cumplir un periodo de incubación de 7 días a temperatura ambiente 20-30 °C.

Una vez transcurrido el periodo de incubación, se realizó mediante la técnica de Bearman la recuperación de larvas infectantes (L3). Las larvas L3 se lavaron utilizando una solución salina saturada, se repitió este proceso hasta que se eliminó la mayor cantidad de materia orgánica, posteriormente fueron suspendidas en agua destilada en un tubo falcón 15 ml en el cual se observó cómo se forma un pellet.

El pellet de larvas se sometió a un proceso de ecdisis inducido, utilizando hipoclorito de sodio al 3% por un tiempo de 3 minutos, posteriormente se lavo con agua destilada para eliminar los restos de hipoclorito de sodio. Mediante microscopio óptico se realizó el conteo de larvas, para determinar y ajustar la concentración la cual quedo entre 100-150 larvas en 82 µL.

7.7. Evaluación de la actividad antihelmíntica en L3.

La solución de larvas previamente ajustada se colocó en una placa de 96 pozos, y se le agrego 12 µL. de aceite esencial de clavo a diferentes concentraciones (6- 0.04% respectivamente), utilizando como control positivo ivermectina (5mg/ml), Tiabendazol (0.1mg/mL) y como control negativo agua destilada. La placa se incubo en una cámara húmeda a 30° C por 48 horas.

Posteriormente se realizó la lectura de placa, observando 10 alícuotas de 10 µL. en el microscopio óptico, con el objetivo de 4x, contabilizando larvas vivas y larvas muertas 4

repeticiones por concentración. Con la información obtenida se determinó el porcentaje de mortalidad utilizando la siguiente formula:

$$\% \text{ de mortalidad} = \frac{\text{Larvas muertas} * 100}{\text{Larvas totales}}$$

7.8. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un diseño completamente al azar a través de ANOVA. Las diferencias entre las medias se evaluaron mediante una comparación de medias por Tukey con un nivel de significancia del 95% ($P \leq 0.05$). Los valores de las concentraciones letales CL_{50} y CL_{90} se determinaron mediante un análisis PROBIT, usando el programa Minitab 18.

8. RESULTADOS

8.1. Aceite esencial

El proceso de destilación permitió obtener dos fracciones: hidrolato y aceite esencial, siendo este último el de mayor interés para el presente estudio (Figura 3). Se recuperaron 2,000 mL de hidrolato y 10 mL de aceite esencial de *Syzygium aromaticum*, lo que representó un rendimiento de 10 mL por cada 250 g de material vegetal utilizado.



Figura 3. AE-CL, resultante del proceso de destilación por arrastre de vapor

8.2. Morfología

Se observó la presencia de diferentes morfologías de huevos de parásitos entre ellos incluyen huevos de nematodos de *Haemonchus* spp, *Nematodirus* spp y ooquistes de *Eimeria* spp, sin embargo, *Haemonchus* spp fue el de mayor prevalencia, con respecto a la liberación de huevos por gramos de heces, los animales presentaron entre 1000 y 8000 HPG.

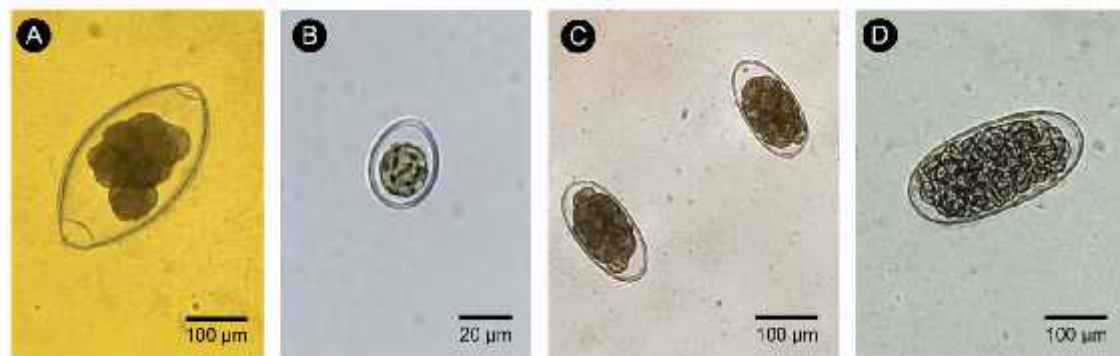


Figura 4 A) *Nematodirus* spp. 10x, B) *Eimeria* spp.40x, C) *Haemonchus contortus*.10x
D) *Cooperia* spp.10x

8.3. Inhibición de la eclosión

Los tratamientos convencionales mostraron una inhibición casi total de la eclosión. La ivermectina, a una concentración de 5 mg/mL, alcanzó un 100 % de inhibición de la eclosión de huevos (IEH), mientras que el tiabendazol, a 0.1 mg/mL, presentó un 99.30 % de IEH. En cuanto a los resultados obtenidos con el tratamiento AE□ CL, este mostró un efecto ovicida dependiente de la concentración, observándose una disminución del porcentaje de IEH conforme se redujo la concentración. A concentraciones de 2 % y 1 %, el AE□ CL presentó valores de 100 % y 99.30 % de IEH, respectivamente, sin diferencias estadísticas en comparación con los tratamientos convencionales, lo que indica una eficacia comparable a la ivermectina y al tiabendazol (Cuadro 1).

Las concentraciones de 0.5 % y 0.25 % del AE□ CL mantuvieron su actividad ovicida, alcanzando valores de 93.92 % y 85.34 % de IEH, respectivamente. Con base en el análisis del porcentaje de IEH, el AE□ CL presentó una concentración efectiva media (CE_{50}) de 0.02 % y una CE_{90} de 0.33 % (Grafica 1).

Cuadro 1. Porcentaje de inhibición de la eclosión de huevos de nematodos de cabras naturalmente infectadas, expuestos a aceite esencial de *Syzygium aromaticum*.

Tratamientos	%IEH $\pm$ D.E
Agua	2.059 $\pm$ 1.10 ^f
Ivermectina 5 mg/mL	100 $\pm$ 0 ^a
Tiabendazol 0.1 mg/mL	99.30 $\pm$ 1.38 ^a
AE-CL <i>Syzygium aromaticum</i> (%)	
2.0	100 $\pm$ 0 ^a
1.0	99.30 $\pm$ 0.80 ^a
0.5	93.2 $\pm$ 1.69 ^{ab}
0.25	85.34 $\pm$ 2.15 ^b
0.12	77.70 $\pm$ 4.65 ^c
0.06	56.81 $\pm$ 3.91 ^d
0.03	50.56 $\pm$ 1.42 ^d
0.01	34.33 $\pm$ 6.42 ^e
Valor de P	0.0001

Media $\pm$ D.E= desviación estándar. ^{abcdef} Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

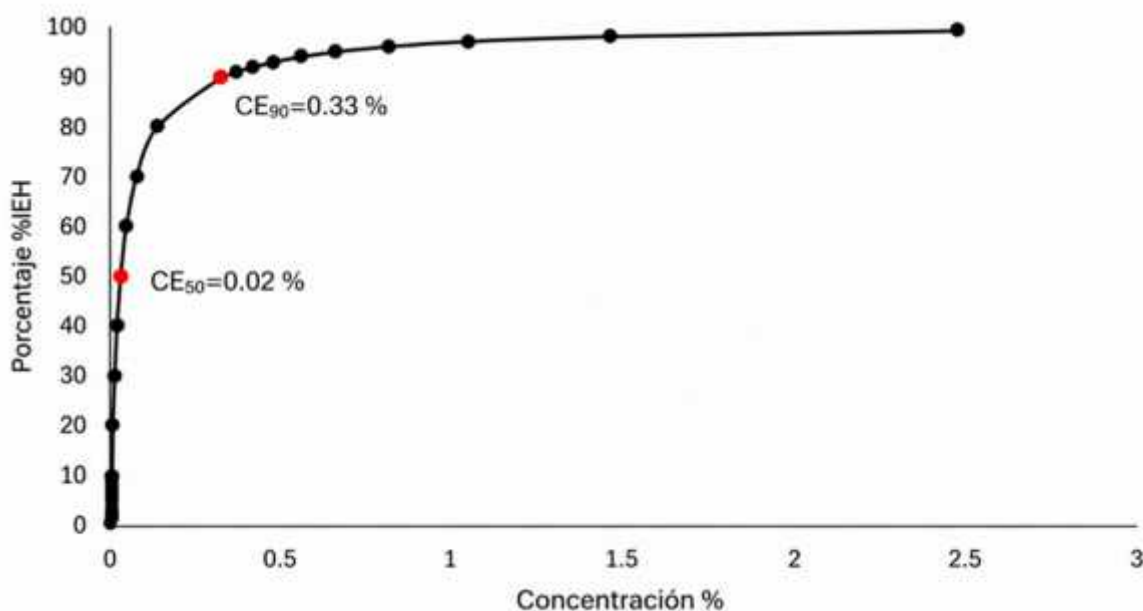


Figura 5. Concentración efectiva CE₅₀ y CE₉₀ de AC-CL sobre huevos NGI

8.4. Mortalidad larvaria

Los tratamientos convencionales mostraron diferencias en su eficacia larvicida. La ivermectina (5 mg/mL) presentó la mayor eficacia, alcanzando un 97.81 % de mortalidad larvaria (%ML). En contraste, el tiabendazol (0.1 mg/mL) mostró una mortalidad significativamente menor (69.71 %ML), lo que indica una reducción en su eficacia frente a las larvas evaluadas. Con respecto al tratamiento con AE□ CL, se observó un efecto dosis dependiente sobre el porcentaje de mortalidad larvaria. Las concentraciones más altas (6.0 %, 3.0 % y 1.5 %) alcanzaron valores de 100 %, 95.12 % y 92.13 %ML, respectivamente, sin diferencias estadísticas significativas en comparación con ivermectina, y mostrando una actividad superior a la observada con tiabendazol. (Cuadro 2).

Para la mortalidad larvaria, el AE□ CL presentó una concentración letal media (CI_{50}) de 0.19 % y una CL_{90} de 1.37 %, lo que indica que a concentraciones relativamente bajas del AE□ CL es posible alcanzar una mortalidad del 50 % de las larvas (Gráfica 2).

Cuadro 2. Porcentaje de mortalidad larvaria de NGI, expuestos a AE-CL (*Syzygium aromaticum*).

Tratamientos	%Mortalidad $\pm$ D.E
Agua	4.95 ± 0.71^f
Ivermectina 5 mg/mL	97.81 ± 2.76^a
Tiabendazol 0.1 mg/mL	69.71 ± 12.92^c
AE-CL <i>Syzygium aromaticum</i> (%)	
6.0	100 ± 0^a
3.0	95.12 ± 0.94^a
1.5	92.13 ± 1.72^{ab}
0.75	84.92 ± 1.85^b
0.37	60.76 ± 0.88^c
0.18	41.65 ± 1.04^d
0.09	27.53 ± 1.46^e
0.04	21.63 ± 1.53^e
Valor de P	0.0001

Media $\pm$, D.E= desviación estándar. ^{abcdef} Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

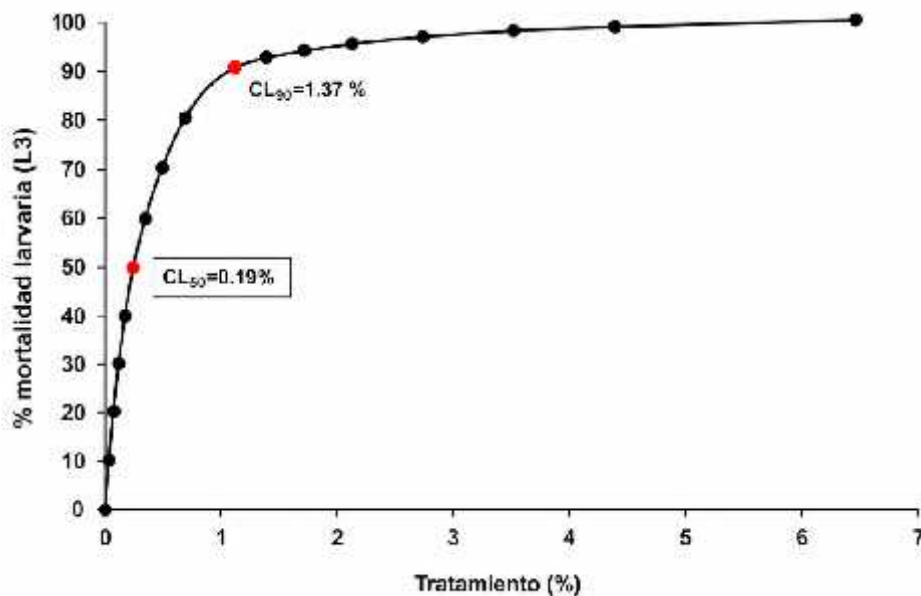


Figura 6. Concentración letal CL50 y CL90 de aceite de clavo sobre larvas NGI

9. DISCUSIÓN

Las parasitosis gastrointestinales siguen representando una limitante sanitaria importante en la producción caprina, particularmente debido al incremento de la resistencia a los antihelmínticos sintéticos, lo que ha motivado la exploración de alternativas terapéuticas de origen natural. En este contexto, los productos vegetales, como los aceites esenciales (AE), han despertado interés por su potencial antihelmíntico; por ello, un primer aspecto a considerar en su evaluación es el rendimiento obtenido, ya que este parámetro resulta clave para determinar su viabilidad y utilidad en el control parasitario (Štrbac *et al.*, 2022).

El método de obtención del aceite esencial por arrastre de vapor en el presente estudio proporcionó un rendimiento del 4.1 %, valor que, aunque inferior a lo reportado en otras investigaciones –como el 5.81 % de Haro-González *et al.* (2021), el 7.06 % de Ratri *et al.* (2020) y el 4.98 % de Chlev & Peshev (2025) se considera dentro del rango esperado para esta especie. La variación en el rendimiento puede atribuirse a factores relacionados con el material vegetal (origen geográfico, condiciones de almacenamiento, tamaño de partícula) y a variables propias del método de extracción, como el tiempo, la temperatura y el flujo de vapor (El-Boukhary *et al.*, 2025).

En el presente estudio se identificaron huevos de *Haemonchus contortus*, *Nematodirus* spp. y ooquistes de *Eimeria* spp. El parásito con mayor prevalencia fue *H. contortus*, cuya presencia se asocia principalmente a las condiciones templado-subhúmedas (temperaturas superiores a 25 °C y humedad relativa de 60-80 %), que favorecen el desarrollo y la supervivencia de las larvas infectantes en el pasto (Quiroz-Romero, 2011; University of Guelph, 2019). Estudios realizados en México han reportado que *H. contortus* es el nematodo más frecuente en pequeños rumiantes, especialmente en sistemas de producción extensivos, donde las infecciones suelen presentarse de forma mixta con especies del género *Trichostrongylus* (López *et al.*, 2013; Mondragón *et al.*, 2019).

Respecto a la evaluación *in vitro* de la inhibición de la eclosión, el aceite esencial de clavo (AE-CL) mostró un efecto ovicida dosis-dependiente. A concentraciones de 2.0 % y 1.0 % se obtuvieron valores de 100 % y 99.30 % de inhibición de la eclosión de huevos (%IEH), sin diferencias significativas frente a los controles positivos ivermectina (100 %) y tiabendazol (99.30 %). Estos resultados coinciden con estudios previos que indican que los

aceites esenciales con alto contenido de compuestos fenólicos (especialmente eugenol) poseen capacidad para inhibir la eclosión de huevos de nematodos. Por ejemplo, Pessoa *et al.* (2002) demostraron que el aceite esencial de *Ocimum gratissimum* y el eugenol puro redujeron significativamente la eclosión de huevos de *H. contortus* a concentraciones de 1.0 % y 0.5 %, alcanzando el 100 % de inhibición. La eficacia observada en el presente estudio se respalda con los valores de CE₅₀ (0.02 %) y CE₉₀ (0.33 %), los cuales evidencian un alto potencial ovicida, ya que concentraciones muy bajas fueron suficientes para inhibir significativamente la eclosión.

A nivel morfológico, las alteraciones observadas en huevos y larvas –como deformaciones y pérdida de integridad estructural– sugieren un mecanismo de acción directo del aceite esencial sobre la cutícula y las membranas celulares. Se ha sugerido que los aceites esenciales pueden ejercer su efecto sobre los receptores de acetilcolinesterasa (AChE) presentes en vertebrados e invertebrados, provocando un daño neurotóxico similar al de los organofosforados (López & Pascual, 2010).

En relación con la actividad larvicida, también se observó un comportamiento dosis-dependiente, alcanzando mortalidades del 100 %, 95.12 % y 92.13 % a concentraciones de 6.0 %, 3.0 % y 1.5 %, respectivamente. Estos resultados fueron comparables a los obtenidos con ivermectina (97.81 %) y superiores a los del tiabendazol (69.71 %). Sin embargo, a concentraciones bajas la mortalidad disminuyó notablemente, lo que indica una menor susceptibilidad de las larvas en comparación con los huevos. Esto se confirma con los valores de CL₅₀ (0.19 %) y CL₉₀ (1.37 %), que muestran que se requieren concentraciones más altas para alcanzar niveles elevados de mortalidad larvaria. Esta diferencia entre la CE y la CL sugiere que los huevos son más sensibles al tratamiento, posiblemente debido a diferencias estructurales y fisiológicas entre ambas etapas del parásito. Estos resultados concuerdan con estudios en los que aceites esenciales como el de menta (*Mentha piperita*) y orégano han exhibido mortalidades larvarias superiores al 80 % en ensayos *in vitro* (Peña-Espinoza *et al.*, 2016; Barbosa *et al.* 2023).

Si bien el uso del AE-CL como antihelmíntico en caprinos ha sido poco documentado, los resultados obtenidos son consistentes con estudios previos que reportan efectos dosis-dependientes en extractos de clavo. Sorour *et al.* (2018) evaluaron el AE-CL en conejos

como agente anticoccidial y hepatoprotector en un estudio *in vivo*, administrando 100 mg/kg/día. Los autores reportaron una disminución significativa en la producción de ooquistes a partir del día 17 posinfección, lo que sugiere un efecto parcial en el control de la coccidiosis hepática. Aunque dicho estudio estaba dirigido a protozoarios, sus hallazgos son consistentes con el potencial antiparasitario del AE-CL observado en el presente trabajo.

La actividad antihelmíntica del AE-CL puede atribuirse a la presencia de metabolitos secundarios como taninos, flavonoides, terpenoides y alcaloides (Hoste *et al.*, 2006; Vargas *et al.*, 2014), los cuales actúan sobre la cutícula del parásito o interfieren con su metabolismo. En particular, compuestos como la quercetina y la luteolina han demostrado inhibir el desarrollo larvario de *H. contortus*, lo que respalda los mecanismos observados en este estudio.

Los resultados también coinciden con investigaciones realizadas en condiciones *in vivo*, como la reportada por Ježek *et al.* (2021), quienes evaluaron el efecto de la suplementación con clavo molido (*Syzygium aromaticum*) en ovejas parasitadas. Administraron 1.8 g de clavo recién molido por oveja al día durante 7 días y observaron una disminución del 40.7 % en el recuento de huevos por gramo de heces (de 3270 a 1940). Asimismo, a una concentración de 10.0 mg/mL se obtuvo un 100 % de mortalidad larvaria en 2 minutos. Estos hallazgos coinciden con los obtenidos en el presente estudio, donde se registraron altos porcentajes de mortalidad larvaria a concentraciones elevadas del aceite esencial (100 % de ML a 6 % de AE-CL).

Por otra parte, Anggrahini *et al.* (2021) evaluaron el extracto de hoja de clavo contra *Ascaridia galli* en aves de corral utilizando siete concentraciones diferentes (20-140 mg/mL). Observaron un efecto dosis-dependiente: a concentraciones bajas (20 mg/mL) no hubo diferencias significativas respecto al control, y la mayor mortalidad parasitaria se alcanzó con 140 mg/mL tras 9 horas de exposición. Este comportamiento coincide con los hallazgos del presente trabajo, en el que se evidenció que a mayores concentraciones del AE-CL se incrementa la actividad ovicida y larvicida, mientras que a concentraciones menores el efecto es reducido (por ejemplo, a la concentración más baja de 0.04 % se reportó un 21.63 % de mortalidad larvaria).

En conjunto, la evidencia sugiere que los derivados de *Syzygium aromaticum* ejercen su efecto antihelmíntico mediante mecanismos que incluyen daño directo a la cutícula y la membrana de los parásitos (Dhanraj & Veerakumari, 2014), además de posibles alteraciones metabólicas y estructurales. Esto respalda los cambios morfológicos observados en el presente estudio y refuerza la hipótesis de que el aceite esencial de clavo actúa de manera integral sobre diferentes estadios del parásito.

10. CONCLUSIÓN

El aceite esencial de *Syzygium aromaticum* presentó actividad antihelmíntica *in vitro* frente a nematodos gastrointestinales de caprinos, destacando su efecto ovicida en comparación con su actividad larvicida, por lo que podría ser una alternativa complementaria para el control de nematodos gastrointestinales en unidades de producción caprina, sin embargo, se requiere de estudios adicionales que garanticen su seguridad antes de pasar a un modelo *in vivo*.

REFERENCIAS

Adduci, I., Sajovitz, F., Hinney, B., Lichtmannsperger, K., Joachim, A., Wittek, T., & Yan, S. (2022). Haemonchosis in Sheep and Goats, Control Strategies and Development of Vaccines against *Haemonchus contortus*. *Animals (Basel)* 8; 12(18):2339. <https://doi.org/10.3390/ani12182339>.

Aguilar-Marcelino, L., Mendoza-de-Gives, P., Al-Ani, L. K. T., López-Arellano, M. E., Gómez-Rodríguez, O., Villar-Luna, E., & Reyes-Guerrero, D. E. (2020). Using molecular techniques applied to beneficial microorganisms as biotechnological tools for controlling agricultural plant pathogens and pest. En V. Sharma, R. Salwan, & L. K. T. Al-Ani (Eds.), *Molecular aspects of plant beneficial microbes in agriculture* (333–349).. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818469-1.00027-4>

Almeida, K.S., Freitas, F.L., & Pereira, T.F (2006). Etnoveterinary: the phytotherapy in view of future veterinarian professional. *Revista Verde De Agroecologia E Desenvolvimento Sustentável*, 1(1), 67–74. <https://doi.org/10.18378/rvads.v1i1.7>

Anggrahini, S., Widiyono, I., Indarjulianto, S., & Prastowo, J. (2021). *In vitro* anthelmintic activity of clove-leaf extract (*Syzygium aromaticum*) against *Ascaridia galli*. *Livestock Research for Rural Development*.33 (91). <http://www.lrrd.org/lrrd33/7/3391irka.html>

Anzaldo, M .M. (2020). Entre la vulnerabilidad y la invisibilidad científica. Estudio sobre los aportes de las ciencias sociales a la investigación sobre ganadería caprina en México. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 30(55).<https://doi.org/10.24836/es.v30i55.915>

Anziani, O.S., & Fiel, C.A. (2015). Resistencia a los antihelmínticos en nematodos que parasitan a los rumiantes en la Argentina. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 41(1), 34-46. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142015000100006

Arsenopoulos, KV, Fthenakis, GC, Katsarou, E.I & Papadopoulos, E. (2021). Haemonchosis: una infección parasitaria desafiante en ovejas y cabras. *Animals*, 11 (2), 363. <https://doi.org/10.3390/ani11020363>

Bakkali, F., Averbek, S., Averbek, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils, a review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>

Barbosa, L.F., Ribeiro, L.C., Araújo, J.V., Cássia, R., André, P.P., Melo, F.L., Souza, M. C., Branco, D., De Moraes, S.M., Oliveira, M.B., & Bevilaqua, M.L. (2024). *In vitro* anthelmintic activity of *Lippia alba* essential oil chemotypes against *Haemonchus contortus*. *Experimental Parasitology*. 244:108439. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2022.108439>.

Barceloux, D. G. (2008). *Medical toxicology of natural substances: Foods, fungi, medicinal herbs, plants, and venomous animals* [Libro electrónico]. Wiley https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=x8ICgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR3&ots=xpsUD146nr&sig=Bl9NBE-3mKI-nazfpWoEGXt9kVU&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Barrabi, M., & Arece, J. (2013). Actividad antihelmíntica *in vitro* de extracto acuoso de hojas y semillas de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss). I. Inhibición de la eclosión de huevos y del desarrollo larvario. *Salud Animal* 35(.2), 103-108. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-570X2013000200005

Becker, S. L., Liwanag, H. J., Snyder, J. S., Akogun, O., Belizario, V., Jr., Freeman, M. C., Gyorkos, T. W., Imtiaz, R., Keiser, J., Krolewiecki, A., Levecke, B., Mwandawiro, C., Pullan, R. L., Addiss, D. G., & Utzinger, J. (2018). Toward the 2020 goal of soil-transmitted helminthiasis control and elimination. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 12(8), e0006606. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006606>

Bowman, D. D. (2019). *Georgis' parasitology for veterinarians* (11th ed.). Elsevier. https://www.google.com.mx/books/edition/Georgis_Parasitology_for_Veterinarians_E/2576DwAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=Bowman,+D.+2019.+Georgi%C2%B4s+Parasitology+for+veterinarians.+11%C2%AA+ed.+Missouri.+Elsevier.&printsec=frontcover

Bucher, E., Torgerson, P. R., & Hertzberg, H. (2021). Control of gastrointestinal helminths in goats in a mixed grazing system with cattle. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, 163(9), 565–576. <https://doi.org/10.17236/sat00314>

Burke, J. M., & Miller, J. E. (2020). Sustainable approaches to parasite control in ruminant livestock. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36 (1), 89–107. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.11.007>.

Cadby, P. A., Troy, W. R., & Vey, M. G. (2002). Consumer exposure to fragrance ingredients: providing estimates for safety evaluation. *Regulatory toxicology and pharmacology*, 36(3), 246–252. <https://doi.org/10.1006/rtph.2002.1581>

Caracostantogolo, J., Schapiro, J., Morici, G., Castaño, R., & Martínez M. (2012). Enfermedades Parasitarias en Veterinaria. Hemisferio Sur, Buenos Aires. http://biblio.unvm.edu.ar/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=40173

Chan-Pérez, J. I., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Hoste, H., Castañeda-Ramírez, G. S., Vilarem, G., & Mathieu, C. (2016). *In vitro* susceptibility of ten *Haemonchus contortus* isolates from different geographical origins towards acetone: water extracts of two tannin-rich plants. *Veterinary Parasitology*, 217, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.11.001>

Charlier, J., Höglund, J., Morgan, E. R., Geldhof, P., Vercruysse, J., & Claerebout, E. (2020). Biology and epidemiology of gastrointestinal nematodes in cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.11.001>

Chikweto A., Tiwari K., Bhaiyat M.I., Carloni J., Pashaian K., Pashaian A., De Allie C., & Sharma R.N. (2018). Parásitos gastrointestinales en pequeños rumiantes de Granada, Indias Occidentales: un estudio coprológico y una revisión de casos de necropsia. *Veterinary Parasitology* 13:130–134. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2018.05.004>

Chilev, C., & Peshev, D. (2025). Steam distillation optimization for clove essential oil: impact on anthelmintic activity. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy* 60 (2), 311-318. <https://doi.org/10.59957/jctm.v60.i2.2025.13>.

Corbett, C. J., Love, S., Moore, A., Burden, F. A., Matthews, J. B., & Denwood, M. J. (2014). The effectiveness of fecal removal methods in pasture management for controlling the cyathostomin burden in donkeys. *Parasites & vectors*, 7, 48. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-48>

Cortés, A., Rooney, J., Bartley, D. J., Nisbet, A. J., & Cantacessi, C. (2020). Helminths, hosts, and their microbiota: new avenues for managing gastrointestinal helminthiasis in ruminants. *Expert review of anti-infective therapy*, 18(10), 977–985. <https://doi.org/10.1080/14787210.2020.1782188>

Craig, T. M. (2018). Gastrointestinal nematodes, diagnosis and control. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 34(1), 185–199. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2017.10.008>

De Moraes, S. M. F., Vila-Nova, N. S., Rondon, F. C., Lobo, C. H., Moura, A. A. A., Sales, A. D., Rodrigues, A. P. R., de Figueiredo, J. R., Wilson, M. E., & de Andrade, H. F. (2014). Thymol and eugenol derivatives as potential antileishmanial agents. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 22(21), 6250–6255. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2014.08.020>

Dhanraj, M., & Veerakumari L. (2014). Efecto *in vitro* de *Syzygium aromaticum* sobre la motilidad y la acetilcolinesterasa de *Cotylophoron cotylophorum*. *Revista india de investigación en ciencias animales y veterinaria*, 43 (3), 187–194. <https://doi.org/10.56093/ijvasr.v43i3.152639>

Domínguez, M. A., Pérez, J. D., Vincenzo, L., Pérez, J. D., Vincenzo, L., Pérez, Vázquez, N., Martínez, A., & Mascorro, G. (2018). Genetic diversity and population structure analysis of the Mexican Pastoreña goat. *Small Ruminant Research*, 168, 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.09.019>

Egea, A.V., Allegratti, L.I., Allegratti, L.I. Paez S.A., Grilli, D., Fucili, M., Guevara, J.C., & Villalba, J.J. (2016). Diet mixing and condensed tannins help explain foraging preferences by Creole goats facing the physical and chemical diversity of native woody plants in the central Monte desert (Argentina). *Animal Feed Science and Technology*, 215, 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.02.021>

El-Boukhary, H., Kissany, H. E., & Hajjaji, A. (2025). Extraction methods and essential oils properties from (*Cinnamomum cassia*) and (*Syzygium aromaticum*) *The Microbe*, 10, 100638. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2025.100638>.

Gárate-Gallardo, L., Torres-Acosta, J. F., Aguilar-Caballero, A. J., Sandoval-Castro, C. A., Cámara-Sarmiento, R., & Canul-Ku, H. L. (2015). Comparing different maize supplementation strategies to improve resilience and resistance against gastrointestinal

nematode infections in browsing goats. *Parasite (Paris, France)*, 22, 19. <https://doi.org/10.1051/parasite/2015019>

García, C., Montero, G., Coronado, M. A., Valdez, B., Stoytcheva, M., Rosas, N., Torres, R., & Sagaste, C. (2017). Valorization of eucalyptus leaves by essential oil extraction as an added value product in Mexico. *Waste and Biomass Valorization*, 8(4), 1187–1197. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9695-x>

Gilleard, J. S., Kotze, A. C., Leathwick, D., Nisbet, A. J., McNeilly, T. N., & Besier, B. (2021). A journey through 50 years of research relevant to the control of gastrointestinal nematodes in ruminant livestock and thoughts on future directions. *International Journal for Parasitology*, 51(13–14), 1133–1151. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2021.10.007>

Gisper, A.C., Pedraza, R.M., Vázquez, R., & Bidot, A.I. (2019). Características generales de los sistemas domésticos de producción caprina en el municipio de Camagüey, Cuba. *Revista de producción animal*. 31, (3) 25–30. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202019000300088

Haro-González, J.N., Castillo-Herrera, G.A., Martínez-Velázquez, M., & Espinosa-Andrews, H. (2021). Clove Essential Oil (*Syzygium aromaticum* L. *Myrtaceae*): Extraction, Chemical Composition, Food Applications, and Essential Bioactivity for Human Health. *Molecules*. 26(21):6387. <https://doi.org/10.3390/molecules26216387>

Hernandez, P.M., Salem, Z.M., Elghandour, M.M., Cipriano, M., Cruz, B., & Camacho, L.M. (2014). Anthelmintic effects of *Salix babylonica* L. and *Leucaena leucocephala* Lam. extracts in growing lambs. *Trop Anim Health Prod* 46, 173–178 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0471-7>

Herrera, F., Ojeda, R., González, R., Cámara, R., & Torres, J. (2017). Gastrointestinal nematode populations with multiple anthelmintic resistance in sheep farms from the hot humid tropics of Mexico. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports* 9:29–33. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2017.04.007>

Hoste, H., & Chartier, C. (1997). Prospects in the control of gastrointestinal strongylosis in domestic ruminants. *Le Point Vétérinaire*, 28(spécial), 1963–1969. <https://hal.science/hal-02699277>

Hoste, H., Jackson, F., Athanasiadou, S., Thamsborg, S. M., & Hoskin, S. O. (2006). The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. *Trends in parasitology*, 22(6), 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2006.04.004>

Hotez, P.J., Brindley, P.J., Bethony, J.M., King, C.H., Pearce, E.J., & Jacobson, J. (2008). Helminth infections: the great neglected tropical diseases. *The Journal of clinical investigation*, 118 4, 1311-21. <https://doi.org/10.1172/JCI34261>

Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. INPI. (2021). Tlayeyecolpahtli-plantas sanadoras. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/681785/Libro-Tlayeyecolpahtli-plantas_sanadoras-INPI.pdf

Jackson, F.; & Coop, R.L. (2000). The development of anthelmintic resistance in sheep nematodes. *Parasitology* (120):95-97. . <https://doi.org/10.1017/s0031182099005740>.

Ježek, J., Mirtič, K., Rešetič, N., Hodnik, J. J., & Vergles Rataj, A. (2021). The effect of pumpkin seed cake and ground cloves (*Syzygium aromaticum*) supplementation on gastrointestinal nematode egg shedding in sheep. *Parasite*, 28, 78. <https://doi.org/10.1051/parasite/2021076>

Jirovetz, L., Buchbauer, G., Stoilova, I., Stoyanova, A., Krastanov, A., & Schmidt, E. (2006). Chemical composition and antioxidant properties of clove leaf essential oil. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(17), 6303–6307. <https://doi.org/10.1021/jf060608c>

Kamatou, G.P., Vermaak, I., & Viljoen, A.M. (2012). Eugenol from the remote Maluku Islands to the international market place: a review of a remarkable and versatile molecule. *Molecules*. 17(6):6953-81. <https://doi.org/10.3390/molecules17066953>.

Kaplan, R.M. (2004). Drug resistance in nematodes of veterinary importance: a status report. *Trends in Parasitology*. 20(10), 477-481. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2004.08.001>

Köhler, P. (2001). The biochemical basis of anthelmintic action and resistance. *International Journal for Parasitology*. 31(4):336-45. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(01\)00131-X](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(01)00131-X)

Kotze, A.C., & Prichard R.K. (2016). Anthelmintic resistance in *Haemonchus contortus*. History, mechanisms and diagnosis. *Advances in Parasitology*, 93: 397-428. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2016.02.012>

Lanusse, C. E., Alvarez, L. I., & Lifschitz, A. L. (2016). Gaining insights into the pharmacology of anthelmintics using *Haemonchus contortus* as model nematode. *Advances in Parasitology*, 93(1), 465-518. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2016.02.014>.

López, M.D., & Pascual, M.J. (2010). Mode of inhibition of acetylcholinesterase by monoterpenoids and implications for pest control. *Industrial Crops and Products*, 31(2), 284-288. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.11.005>.

López-Rodríguez, G., Zaragoza-Bastida, A., Olmedo-Juárez, A., Rosenfeld Miranda, C., & Rivero-Pérez, N. (2023). Nematodos gastrointestinales en ovinos y su resistencia antihelmíntica: Un tema en discusión en México. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 10(2), 116–129. <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2023.100200116>

Lustigman, S., Prichard, R. K., Gazzinelli, A., Grant, W. N., Boatín, B. A., McCarthy, J. S., & Basáñez, M.G. (2012). A research agenda for helminth diseases of humans: The problem of helminthiasis. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 6(4), e1582. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.000158>

Lu, C. D., & Miller, B. A. (2019). Current status of global dairy goat production: An overview. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(8), 1219–1232. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0253>

Parekh, J., Jadeja, D., & Chanda, S. (2005). Efficacy of Aqueous and Methanol Extracts of Some Medicinal Plants for Potential Antibacterial Activity. *Turkish Journal of Biology* 29 (4): 203-210. <https://journals.tubitak.gov.tr/biology/vol29/iss4/3/>

Peña-Espinoza, M., Thamsborg, SM, Desrues, O., Hansen, T.V., & Enemark, H.L. (2016). Anthelmintic effects of forage chicory (*Cichorium intybus*) against gastrointestinal nematode parasites in experimentally infected cattle. *Parasitology* 143(10), 1279-1293 <https://doi.org/10.1017/S0031182016000706>

Pessoa, L. M., Morais, S. M., Bevilacqua, C. M., & Luciano, J. H. (2002). Anthelmintic activity of essential oil of *Ocimum gratissimum* Linn, and eugenol against *Haemonchus contortus*. *Veterinary parasitology*, 109(1-2), 59–63. [https://doi.org/10.1016/s0304-4017\(02\)00253-4](https://doi.org/10.1016/s0304-4017(02)00253-4)

Neveu, V., Perez-Jiménez, J., Vos, F., Crespy, V., du Chaffaut, L., Mennen, L., Knox, C., Eisner, R., Cruz, J., Wishart, D., & Scalbert, A. (2010). Phenol-Explorer: an online comprehensive database on polyphenol contents in foods. *The journal of biological databases and curation*. <https://doi.org/10.1093/database/bap024>

Martínez, R., Torres, H. G., & Martínez, H. S., (2014). Caracterización fenotípica, productiva y reproductiva de la cabra blanca Criolla del "Filo Mayor" de la Sierra Madre del Sur en el estado de Guerrero. *Nova scientia*, 6(11), 25-44. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200707052014000100003&lng=es&tlng=es.

Medina, P., Guevara, F., La O, M., Ojeda, N., & Reyes, E. (2014). Resistencia antihelmíntica en ovinos: una revisión de informes del sureste de México y alternativas disponibles para el control de nemátodos gastrointestinales. *Pastos y Forrajes*, 37(3), 257-263. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086403942014000300001&lng=es&tlng=es.

McRae, K.M., McEwan, J.C., Dodds, K.G., & Gemmell, J.N. (2014). Señales de selección en ovejas criadas para resistencia o susceptibilidad a nematodos gastrointestinales. *BMC Genomics* 15, 637. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-637>

Millezi, A.F., Baptista, N.N., Caixeta, D.S., Rossoni, D.F., Cardoso, M.G., & Piccoli, R.H. (2014). Chemical characterization and antibacterial activity of essential oils from medicinal and condiment plants against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Revista Brasileira de plantas medicinais* 16(1). <https://doi.org/10.1590/S1516-05722014000100003>

Miller, J. E., Kaplan, R. M., & Pugh, D. G. (2012). *Internal parasites*. En D. G. Pugh & A. N. Baird (Eds.), *Sheep and goat medicine* (2nd ed., pp. 106–125). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-2353-3.10006-X>

Mondragón- J., Olmedo, A., Reyes, D.E., Ramírez, G., Ariza, A.E., López, M.E., & Napolitano, F. (2019). Detección de poblaciones de nematodos gastrointestinales resistentes al albendazol y la ivermectina en ovejas. *Animales*, 9 (10), 775. <https://doi.org/10.3390/ani9100775>

Molento, M. B., Fortes, F. S., Pondelek, A. S., Borges, F.A., Chagas, A. C., Torres-Acosta, J. F., & Geldhof, P. (2011). Challenges of nematode control in ruminants: Focus on Latin America. *Veterinary Parasitology*, 180(1–2), 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.05.033>

Panda, S. K., Daemen, M., Sahoo, G., & Luyten, W. (2022). Essential oils as novel anthelmintic drug candidates. *Molecules*, 27(23), 8327. <https://doi.org/10.3390/molecules27238327>

Pugh D.G., & Baird, A.N. (2002). *Sheep and Goats Medicine*. ELSEVIER. [Electrónico]

Rossanigo, C.E., & Gruner, L.(2009). Requisitos de humedad y temperatura en las heces para el desarrollo de las fases de vida libre de nematodos gastrointestinales de ovejas, bovinos y ciervos. *Journal of Helminthology*. 69 (4):357-362. <https://doi.org/10.1017/S0022149X00014954>

Salgado, J. J., González, A., Díaz, E., Peláez, M. P., Galán, I., Delgado, J. V., Navas, F. J., & Camacho, M. E. (2023). Situación actual y perspectivas del sector caprino mundial y español. *Archivos de Zootecnia*, 72(278), 144–155. <https://doi.org/10.21071/az.v72i278.5717>

Santos, L.D., Vasconcelos, J.F., Frota G.A., Freitas, E.P., Teixeira, M., Vieira, L.D., Bevilaqua, C.M., & Monteiro, J.P. (2019). Quantitative molecular diagnosis of levamisole resistance in populations of *Haemonchus contortus*. *Experimental Parasitology*. 205,107734. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2019.107734>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015, junio 9). *La capricultura en México*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-capricultura-en-mexico>

Shan, B., Cai, Y. Z., Sun, M., & Corke, H. (2005). Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(20), 7749–7759. <https://doi.org/10.1021/jf051513y>

SIAP. Hidalgo: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2024). Infografía Agroalimentaria. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>

SIAP. (2024). La ganadería mexicana en cifras. <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/articulos/la-ganaderia-mexicana-encifras?idiom=es>

SIAP (2021). Panorama agroalimentario 2021. Producción leche de caprino. Recuperado de <https://sursureste.org.mx/wp-content/uploads/2023/01/Infografia-Leche-de-Caprino-2021.pdf>

SIAP. 2022. Anuario estadístico de la producción ganadera. Obtenido de https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario00/

Sorour, S. S., Abou Asa, S., Elhawary, N. M., Ghazy, E. W., Abd El Latif, A., El-Abasy, M. A., & Khalifa, H. O. (2018). Anticoccidial and hepatoprotective effects of artemisinin liquid extract, cinnamon essential oil and clove essential oil against *Eimeria stiedae* infection in rabbits. *Tropical biomedicine*, 35(4), 926–943. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33601842/>

Štrbac, F., Bosco, A., Maurelli, M. P., Ratajac, R., Stojanović, D., Simin, N., Orčić, D., Pušić, I., Krnjajić, S., Sotiraki, S., Saralli, G., Cringoli, G., & Rinaldi, L. (2022). Anthelmintic Properties of Essential Oils to Control Gastrointestinal Nematodes in Sheep-*In Vitro* and *In Vivo* Studies. *Veterinary sciences*, 9(2), 93. <https://doi.org/10.3390/vetsci9020093>

Suarez, V. (2001). Helminth control on grazing ruminants and environmental risks in South America. *Veterinary Research* 33(5). 65: <https://doi.org/10.1051/vetres:2002039>

Tajonar, K., López, C.A., Sánchez, L.E., Chay., A.J, González, M., & Vargas, E., (2022). Una breve actualización sobre los desafíos y perspectivas de la producción caprina en México. *Animales*, 12 (7), 837. <https://doi.org/10.3390/ani12070837>

Torres V.P., Prada G.A., & Márquez L, D. (2007). Resistencia antihelmíntica en los Nemátodos Gastrointestinales del bovino. *Revista de Medicina Veterinaria*. 13:59-76.

<https://veterinaria.lasalle.edu.co/article/view/1351#:~:text=Los%20NGI%20son%20de%20gran,desarrollo%20de%20la%20resistencia%20antihelm%C3%ADtica>.

Torres-Acosta, F. J., Sandoval-Castro, C. A., González-Pech, P. G., Mancilla-Montelongo, M. G., Ortega-Pacheco, A., Aguilar-Caballero, A. J., Santos-Ricalde, R. H., Sarmiento-Franco, L. A., Ramos-Bruno, E., Torres-Fajardo, R. A., & Méndez-Ortiz, F. A. (2021). Interaction between nutrition and gastrointestinal nematodes in small ruminants grazing the low deciduous forest: Contributions from FMVZ-UADY. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(3). <https://doi.org/10.56369/tsaes.3932>

University of Guelph. (2019). Handbook for the Control of Internal Parasites of Sheep & Goats. Recuperado de <https://vet.ucalgary.ca/sites/default/files/teams/29/Handbook%20for%20the%20Control%20of%20Internal%20Parasites%20of%20Sheep%20and%20Goats.pdf>

Vargas, J.J., Torres, J.F., Aguilar, A.J., Sandoval, C.A., Hoste, H., & Chan, J.I.(2014).Anthelmintic activity of acetone–water extracts against *Haemonchus contortus* eggs: Interactions between tannins and other plant secondary compounds. *Veterinary Parasitology*, 206(3–4), 322–327. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.10.008>

Yoo, C.B., Han, K.T., Cho, K.S., Ha, J., Park, H.J., Nam, J.H., Kil, U.H., & Lee, K.T., (2005). Eugenol, isolated from the essential oil of *Eugenia caryophyllata*, induces reactive oxygen species-mediated apoptosis in HL-60 human promyelocytic leukemia cells. *Cancer Letter*;225(1) ,41–52. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2004.11.018>

Zapata, C. C., & Mellado, M. Á. (2021). La cabra: selección y hábitos de consumo de plantas nativas en agostadero árido. *CienciaUAT*, 15(2), 169–185. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v15i2.1409>

Zheng G.Q., Kenney, P.M., & Lam L.K. (1992). Sesquiterpenes from clove (*Eugenia caryophyllata*) as potential anticarcinogenic agents. *Journal of natural products*, 55(7), 999–1003. <https://doi.org/10.1021/np50085a029>

Zvinorova, P.I., Halimani, T.E., Muchadeyi, F.C., Matika, O., Riggio, V., & Dzama, K. (2016).Prevalence and risk factors of gastrointestinal parasitic infections in goats in low-input low-output farming systems in Zimbabwe. *Small Ruminant Research*, 143. 75-83. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.09.005>