



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y  
ZOOTECNIA

EFECTO DE UN SUPLEMENTO DE  
SOPORTE DIGESTIVO EN LA REDUCCIÓN  
DE LA CARGA PARASITARIA DE  
CIATOSTOMINOS EN POTROS EN  
PASTOREO

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:  
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA:

**FERNANDA VALERIA CALIXTO TLACOMULCO**



DIRECTORA DE TESIS:

Dra. Cintli Martínez Ortiz de Montellano

Ciudad Universitaria, Cd. Mx. , 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## RESUMEN

CALIXTO TLACOMULCO FERNANDA VALERIA. Efecto de un suplemento de soporte digestivo en la reducción de la carga parasitaria de ciatostominos en potros en pastoreo (bajo la dirección de: Dra. Cintli Martínez Ortiz de Montellano).

El grupo parasitario de los ciatostominos ha adquirido importancia debido al impacto del desarrollo de la enfermedad clínica, a su interacción con la microbiota intestinal y el surgimiento de poblaciones de ciatostominos resistentes a los fármacos antihelmínticos. De forma natural los equinos en pastoreo están expuestos a la infección por ciatostominos, especialmente los potros al carecer de un sistema inmune desarrollado. Derivado de lo anterior, surge la necesidad de la búsqueda de alternativas que promuevan la respuesta del hospedero ante el parasitismo, mediante el mejoramiento nutricional con el uso de probióticos y prebióticos adicionados en los suplementos de soporte digestivo que, a su vez, tienen efecto sobre la salud intestinal y la salud del equino en general. El presente estudio evaluó el efecto de un suplemento de soporte digestivo en la reducción de la carga parasitaria de ciatostominos, la ganancia de peso vivo y la condición corporal de potros en pastoreo parasitados naturalmente. Durante cuatro semanas se obtuvieron los umbrales clínicos del parasitismo como condición corporal, la estimación de peso vivo y se determinó la carga parasitaria de 20 potros y potrancas. La condición corporal de los animales fue de 3 sin variación a lo largo del estudio, en promedio los animales pesaron 368 kg y el suplemento de soporte digestivo no tiene efecto sobre la disminución de la carga parasitaria. La prevalencia de parásitos identificados fue de 94 % del grupo de los ciatostominos y en menor proporción *Gyalocephalus* spp y *Triodontophorus* spp. Los animales de este estudio no presentaron signos clínicos de la enfermedad clínica por ciatostominos.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica con el proyecto PAPIIT IN2261 2020.

Esta tesis se realizó bajo la tutoría de la Dra. Cintli Martínez Ortiz de Montellano, a quien agradezco profundamente su confianza, todas sus enseñanzas académicas y personales y por darme la oportunidad de seguir aprendiendo con, sobre y para los caballos.

Agradezco al señor Salvador Oñate Ascencio y al Rancho Hacienda Santiago. A los doctores Jorge Luis Lemus Vargas y Jorge Luis Lemus Avilés por su apoyo durante este proyecto, su guía, confianza y por compartir conmigo su invaluable conocimiento.

A la Dra. Jacqueline Susana Cura Ortiz por su apoyo para este trabajo.

Al Dr. Bernardo Monroy Hernández, por su apoyo y enseñanzas prácticas durante este proyecto.

Agradezco al Dr. Hugo Oswaldo Toledo Alvarado por su disposición, asesoría y apoyo.

Por último, expreso mi gratitud al Jurado de Examen Profesional asignado por la División de Estudios Profesionales:

Presidente	MVZ. Juan Antonio Figueroa Castillo
Vocal	MVZ. Omar Prado Ortiz
Secretario	MVZ. Gabriel Rueda Carrillo
Suplente	MVZ. Víctor Hugo del Río Araiza

## DEDICATORIA

A mi mamá, mi papá y mi hermana.

A mi papá Luis, por ser mi compañero, mi mejor amigo y por nunca dejarme sola.

A mi mamá Genoveva, por ser mi guía y mi apoyo, por abrazarme y estar siempre a mi lado.

A Sandy, por ser mi persona favorita, mi más grande apoyo y por hacer mi vida muy feliz.

A mi amado abuelito Reyes.

A Bertha, Mel y Toño, por su cariño inmenso.

A Romi y Luci, por llenarme de felicidad y ternura.

A Mimi, Nicolás, Camila y Sebas, que les amo infinitamente.

A mis amigas y amigos, Irina, Gaby, Lau, Vico, Bryan, Orlando, Alexis y Daniel, por alentarme, acompañarme y rodearme con su cariño.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>3</b>
2.1. El parasitismo y su establecimiento en el potro. . . . .	4
<b>Glosario</b>	<b>6</b>
2.2. Principales parásitos que afectan a los equinos . . . . .	8
2.3. Los ciatostominos y su ciclo biológico . . . . .	9
2.4. Ciatostominosis larvaria . . . . .	10
2.5. Control convencional de los parásitos . . . . .	12
2.6. Manejo Integrado de Parásitos en Equinos . . . . .	14
2.7. Suplementos de soporte digestivo como apoyo al estado nutricional y la salud gastrointestinal equina . . . . .	19
<b>3. Justificación</b>	<b>21</b>
<b>4. Hipótesis</b>	<b>22</b>

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	VI
<b>5. Objetivo</b>	<b>23</b>
5.1. Objetivos particulares . . . . .	23
<b>6. Materiales y métodos</b>	<b>24</b>
6.1. Bioética del proyecto . . . . .	25
6.2. Localización . . . . .	25
6.3. Animales . . . . .	25
6.4. Diseño experimental . . . . .	26
6.5. Obtención de umbrales clínicos . . . . .	27
6.5.1. Peso vivo . . . . .	27
6.5.2. Condición corporal . . . . .	28
6.5.3. Determinación de HPG y especies larvarias . . . . .	28
6.6. Análisis estadístico . . . . .	29
<b>7. Resultados</b>	<b>30</b>
7.1. Edad. . . . .	31
7.2. Umbrales clínicos del parasitismo . . . . .	31
7.2.1. Condición corporal . . . . .	31
7.2.2. Peso vivo . . . . .	34
7.3. Diagnóstico coproparasitológico . . . . .	36
7.3.1. Determinación de la carga parasitaria . . . . .	36
7.3.2. Identificación larvaria . . . . .	41

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	VII
<b>8. Discusión</b>	<b>43</b>
<b>9. Conclusión</b>	<b>53</b>
<b>10. Referencias</b>	<b>55</b>



# Índice de figuras

2.1. Dinámica de la comunidad. Interacción hospedero-parásito-ambiente.	4
2.2. Ciclo de vida de los ciatostominos (creado con BioRender.com) . . . . .	10
2.3. Fotografía <i>post-mortem</i> del colon ventral de un equino. Las flechas señalan la presencia de múltiples larvas de ciatostominos enquistadas. La barra indica 2 cm. (Imagen obtenida y modificada de Walshe et al., 2021.) . . . . .	11
2.4. Pilares del Manejo Integrado de Parásitos en Equinos (modificado de Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022b y creado con BioRender.com) .	19
6.1. Diseño experimental donde se indican las características de cada grupo (creado con BioRender.com) . . . . .	27
7.1. Proporción de la edad de todos los animales de experimentación. . . .	31
7.2. Fotografías tomadas al concluir el estudio de los seis animales del grupo G1 tratado con ivermectina (publicación de la revista <i>HorsesMx</i> en Potros para la Subasta 2021 Ciudad de México). . . . .	32

7.3. Fotografías obtenidas al finalizar el estudio de los seis potros y potrancas del grupo G2 tratado con ivermectina y el suplemento de soporte digestivo (publicación de la revista *HorsesMx* en Potros para la Subasta 2021 Ciudad de México). . . . . 32

7.4. Fotografías tomadas al termino del estudio de cuatro animales del grupo G3 sin tratamiento, solo el suplemento de soporte digestivo (publicación de la revista *HorsesMx* en Potros para la Subasta 2021 Ciudad de México). . . . . 33

7.5. Fotografía de un potro del grupo Gc sin tratamiento y sin suplemento, obtenida al concluir el estudio (publicación de la revista *HorsesMx* en Potros para la Subasta 2021 Ciudad de México). . . . . 33

7.6. Media de la estimación del peso vivo en los grupos experimentales a lo largo de cuatro semanas. G1 de 367.2 kg ± 8.5; G2 de 367.8 kg ± 10.34; G3 de 380.7 kg ± 9.12 y Gc de 337.0 kg ± 10. . . . . 36

7.7. Diferencia entre las medias de huevos por gramo de heces de cada grupo experimental. A) G1 vs. G2; B) G1 vs. G3; C) G2 vs. G3; D) G1 vs. Gc; E) G2 vs. Gc; F) G3 vs. Gc. Los datos representan la media ± D.S. \*\*\*\*p=0.0001 . . . . . 38

7.8. Comparación de la media de HPG registrada al día 0 y al final del estudio en los cuatro grupos experimentales. . . . . 39

7.9. Distribución de HPG del grupo G3, al cual únicamente se le administró el suplemento de soporte digestivo en el curso de 30 días e identificación de bajos, moderados y altos eliminadores. . . . . 40

7.10. Microfotografías obtenidas durante la identificación larvaria. A) y B) Acercamiento de las células intestinales de larvas infectivas de ciatostominos (40x). C) Largo total (780µ) de *L3* de ciatostomino (10x). . . . . 41

7.11. A) Microfotografía de una larva infectiva de ciatostomino donde se aprecian siete células intestinales (40x); B) Delimitación de las células intestinales de $L_3$ de ciatostomino (40x). . . . .	42
7.12. A) Microfotografías de células intestinales de $L_3$ infectiva de <i>Gyalocephalus</i> spp (40x); B) Largo total (1000 $\mu$ ) de $L_3$ de <i>Triodontophorus</i> spp (10x). . . . .	42

# Índice de cuadros

2.1. Características generales de los principales parásitos de interés equino. . . . .	8
2.2. Periodo de reaparición de huevos en las poblaciones de ciatostominos. . . . .	13
2.3. Clasificación de eliminadores de huevos según el conteo de HPG. . . . .	15
7.1. Contraste de medias de los grupos experimentales y la media poblacional. . . . .	34
7.2. Análisis de la diferencia de medias aritméticas del peso entre los cuatro grupos de estudio . . . . .	35
7.3. Análisis de varianza para los efectos que podrían modificar el peso de los animales de estudio. . . . .	35
7.4. Contraste de las dos medias poblacionales y la media de los cuatro grupos experimentales. . . . .	37
7.5. Análisis de la comparación de las medias de HPG en los grupos de estudio. . . . .	37
7.6. Análisis de varianza para los efectos que podrían afectar el valor de HPG en los potros de estudio. . . . .	39

# Capítulo 1

## Introducción

En la actualidad, el grupo parasitario de mayor importancia y con potencial patógeno es el de los ciatostominos (Nielsen et al., 2019). Los factores que vuelven susceptible al hospedero, como la edad (Walshe et al., 2020) y, el desequilibrio o disbiosis (Martínez- Ortíz-de-Montellano et al., 2022a), propician el desarrollo de la enfermedad clínica por ciatostominos y adquiere el nombre de ciatostominosis larvaria (Nielsen y Lyons, 2017). Caracterizada por una tiflocolitis grave a consecuencia de la salida abundante de las larvas de ciatostominos enquistadas en la mucosa del intestino grueso (Walshe et al., 2020). Aunado a lo anterior, según según Coop y Kyriazakis (1999) el efecto de los nematodos gastrointestinales en el hospedero se refleja en la pérdida de peso y condición corporal. Sin embargo, no todos los animales desarrollan signos clínicos de la enfermedad y a pesar de la parasitiasis, mantienen un estado de resiliencia (Coop y Kyriazakis, 1999). En el presente, los programas convencionales para el control de parásitos omiten el diagnóstico parasitológico e incluyen la administración indiscriminada de antihelmínticos comerciales, causando resistencia antihelmíntica en las poblaciones de nematodos (Nielsen et al., 2019). Este hecho cuestiona el criterio y la eficiencia de proporcionar un tratamiento antihelmíntico a animales que no lo necesitan, además de dificultar el control de las afecciones parasitarias, incluyendo la infección por ciatostominos. Frente a este panorama, surge la necesidad de buscar estrategias para el manejo y control de los parásitos, como el Manejo Integrado de Parásitos en Equinos (MIPE). El pilar esencial del MIPE es apoyar la respuesta del hospedero ante el parasitismo, por medio del mejoramiento de la nutrición (Martínez-Ortiz-de-Montellano, 2021). La anterior, participa en la prevención y control de enfermedades, la resiliencia y resistencia del hospedero frente al parasitismo (Coop y Kyriazakis, 1999) y mantiene el equilibrio de la microbiota intestinal (Mousquer et al, 2021). El uso de suplementos adicionados con probióticos y prebióticos son una alternativa para mejorar el estado nutricional, estimular la respuesta inmune del animal y reestablecer la microbiota intestinal (Mousquer et al., 2021). El objetivo de este estudio es evaluar el efecto de un suplemento de soporte digestivo como apoyo al estado nutricional, sobre la carga parasitaria de ciatostominos, la ganancia de peso vivo y condición corporal de potros en pastoreo parasitados naturalmente.

## Capítulo 2

### Marco Teórico

## 2.1. El parasitismo y su establecimiento en el potro.

Bajo el enfoque del holobionte sugerido por Martínez-Ortiz-de-Montellano y colaboradores (2022a), todos los seres vivos se encuentran en constante interacción con otros seres vivos y establecen una dinámica con su comunidad. Para ilustrar esta interacción, en la Figura 2.1 se encuentra una manada de potros donde cada uno interactúa con animales de su misma especie en un ambiente, en el cual por lógica existe una infinidad de asociaciones bióticas macroscópicas y microscópicas. El ambiente caracterizado por el clima y la vegetación particular de la zona ecológica donde habitan, incluyen otros organismos como los parásitos. Al mismo tiempo, en el interior de los animales también se llevan a cabo interacciones o asociaciones con cientos de especies denominadas macrobiota y microbiota. La microbiota se define como la comunidad microbiana presente en un hábitat definido (holobionte) (Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022a) y la macrobiota (Gause y Maizels, 2016), término que recientemente se estableció como el conjunto de helmintos y artrópodos que habitan en el holobionte (Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022a). En conjunto, estas asociaciones contribuyen al equilibrio u homeostasis, o de forma contraria, perjudican la homeostasis causando su desequilibrio y se presenta disbiosis y/o parasitismo (Araújo et al., 2003; Martínez-Ortiz-de-Montellano, 2021; Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022a).

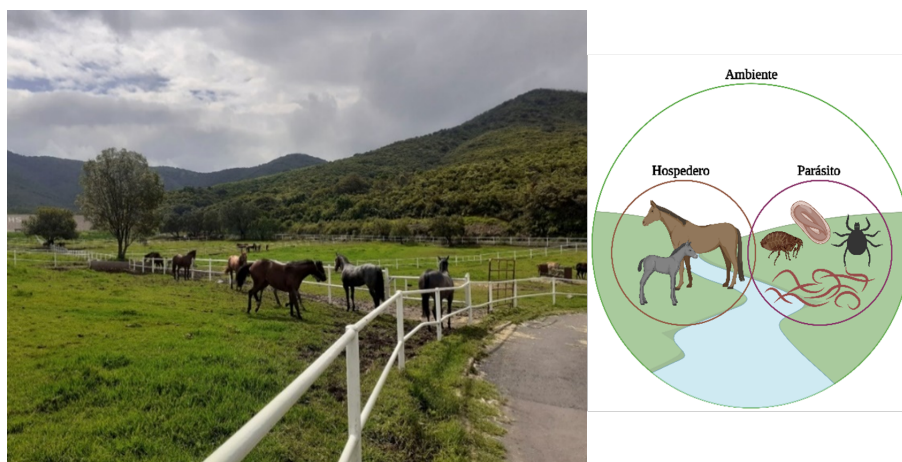


Figura 2.1: *Dinámica de la comunidad. Interacción hospedero-parásito-ambiente.*



Con respecto a las complejas interacciones en el holobionte, el siguiente texto se centra en específico en el fenómeno del parasitismo. El anterior se define como la asociación entre dos organismos de diferente especie en la que uno de ellos, el parásito, vive a expensas de su hospedero. Su permanencia le causa daño, puede ir desde el arresto de nutrientes hasta originar lesiones en un tejido según lo establecido por varios autores (Roberts et al., 2013; Bowman, 2014; Taylor et al., 2016). Además, según Coop y Kyriazakis (1999), los nematodos gastrointestinales disminuyen la disponibilidad de nutrientes para el hospedero a través de la reducción del consumo de alimento y la disminución en la absorción de nutrientes. En los animales parasitados, la síntesis de proteínas y otros nutrientes se desvía de procesos como el crecimiento esquelético y desarrollo muscular hacia procesos esenciales para mantener la homeostasis, tales como la síntesis de proteínas en plasma y sangre, reparación de la mucosa intestinal y el mantenimiento al sistema inmune del animal. El resultado del desvío de nutrientes trae consigo la disminución del crecimiento muscular y esquelético, reflejado en la pérdida de peso y condición corporal (Coop y Kyriazakis, 1999; Frainer et al., 2018). Por lo antes mencionado, existen los umbrales clínicos del parasitismo como el peso vivo y la condición corporal que, en conjunto, son un reflejo del efecto del parásito en el hospedero. Además, otros umbrales de importancia son los obtenidos por medio de exámenes complementarios, como la concentración del fibrinógeno en plasma (Borges et al., 2007; Long y Nolen-Walston, 2020; Walshe et al., 2021) y el amiloide sérico (Belgrave et al., 2013; Schwartz et al., 2018), ambos indicadores de inflamación asociada al parasitismo.

Sin embargo, un parásito es una condición necesaria, pero no suficiente para desencadenar la enfermedad porque el daño al hospedero o patogenicidad por parte del parásito es una consecuencia de la asociación hospedero-parásito y no una característica del parásito por sí solo (Araújo et al., 2003). Asimismo, a pesar del establecimiento, crecimiento y reproducción del parásito en el hospedero, el “poder patógeno” o virulencia del parásito, le permite prolongar la vida del hospedero y, por ende, la suya (Araújo et al., 2003; Martínez- Ortiz-de-Montellano et al., 2022a).

En el parasitismo existe una distinción importante entre la infección parasitaria o parasitiasis que hace referencia a la simple presencia del parásito en el hospedero y la enfermedad parasitaria o parasitosis donde la presencia del parásito progresa hasta evidenciar signos clínicos en el hospedero (Nielsen y Reinemeyer, 2018). Así que la susceptibilidad del hospedero al parasitismo varía ampliamente en una población de animales, ya que algunos experimentarán más daño proveniente de un número reducido de parásitos que otros. Además, factores como el estrés, la desnutrición, la inmunosupresión o la presencia de otras enfermedades predisponen la parasitosis (Nielsen y Reinemeyer, 2018). De forma general, en una población de animales, la carga parasitaria difiere entre individuos. La carga parasitaria se establece a través del conteo de huevos por gramo de heces (HPG) y evidencia que, la minoría de individuos (20 al 30 %) eliminan la mayor parte de la carga parasitaria al medio (80 %), mientras que la mayoría de los individuos eliminan cargas parasitarias de bajas a moderadas.

## Glosario

**Holobionte:** del griego *halo* (todo) y *bios* (vida). Unidad de convivencia y de selección natural (Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022a).

**Macrobiota:** conjunto de helmintos y artrópodos presentes en el holobionte (Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022a).

**Microbiota:** comunidad de microorganismos presente en un hábitat definido (Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022a).

**Parasitiasis:** grado de parasitismo donde el parásito únicamente está presente en el hospedero.

**Parasitosis:** grado de parasitismo donde el parásito ocasiona la aparición de signos clínicos en el hospedero.

**Parasitismo:** asociación entre dos seres de diferente especie, en la que el parásito, vive a expensas de su hospedero.

**Resiliencia del hospedero:** habilidad de mantener un adecuado nivel de productividad a pesar de la infección parasitaria.

**Resistencia antihelmíntica:** pérdida de la eficacia de una molécula que previamente mostró eficacia contra el mismo parásito, etapa, en el mismo hospedero, a la misma dosis y vía de administración (Nielsen y Reinemeyer, 2018).

**Resistencia del hospedero:** habilidad para limitar el establecimiento, desarrollo y reproducción de los parásitos.

**Sensibilidad del hospedero:** ausencia de la habilidad para limitar el desarrollo parasitario.

**Virulencia:** potencial patógeno del parásito para prolongar la vida del hospedero y, a su vez, la suya (Araújo et al., 2003).

Esta distribución de la carga parasitaria en una población recibe el nombre de fenómeno de la superdispersión (Lester et al., 2017; Warburton y Vonhof, 2018; Nielsen et al., 2019). Evidenciando el fenómeno de la superdispersión (estudio de la distribución de la carga parasitaria), en una manada se encuentran individuos resistentes, sensibles y resilientes. Los animales resistentes poseen la capacidad de limitar el establecimiento, crecimiento y reproducción de la población parasitaria. Contrario a esto, los animales sensibles no limitan el desarrollo de los parásitos, permitiendo su reproducción y dispersión de los huevos al ambiente en grandes cantidades, de tal forma que dentro del grupo de animales sensibles se encuentran los individuos resilientes, aquellos capaces de mantener un adecuado nivel de productividad a pesar de la infección parasitaria (Coop y Kyriazakis, 1999; Martínez-Ortiz-de-Montellano, 2021).

Derivado de que en una población de caballos están presentes animales de diferentes edades: resistentes, sensibles y resilientes ante el parasitismo; dentro de la práctica de la medicina y zootecnia equina, los animales se han dividido en grupos etarios por la diferencia en el manejo conforme el animal continúa en crecimiento y desarrollo. Los grupos son: neonatos, lactantes, destetados, añales y dosañeros, debido a que hay parásitos que se presentan de forma común en edades y etapas fisiológicas específicas (Reinemeyer y Nielsen, 2016). El potro añal es susceptible a la infección por diferentes nematodos como *Parascaris* spp, *Strongylus* spp y al grupo de los ciatostominos (Reinemeyer y Nielsen, 2016; Nielsen et al., 2019). Diversos son los factores que rodean al potro en sus diferentes etapas y que son piezas clave en el progreso o no de la parasitiasis hacia la parasitosis, principalmente determinado por la sensibilidad del hospedero y la presentación de disbiosis (Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022a). Por lo general, estos factores recaen en la exposición a sucesos que generan estrés como la separación de la madre, el encuentro con individuos nuevos de la misma u otra especie y el establecimiento de jerarquías dentro de su manada. Sin restarle importancia al estrés ocasionado por actividades como el traslado a corta o larga distancia, los cambios y condiciones del alojamiento y por supuesto, el fin zootécnico al que están destinados que puede involucrar la exposición

al ejercicio moderado a intenso (Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022a).

## 2.2. Principales parásitos que afectan a los equinos

Durante la década de los 60's el parásito más importante de los caballos era *Strongylus vulgaris* y el enfoque de los programas de control para ese nematodo fueron lo suficientemente efectivos para que en la actualidad, el desarrollo de la enfermedad ocasionada por *Strongylus vulgaris* es difícil. No obstante, además de *Strongylus* spp, es común encontrar otros géneros parasitarios en diferentes edades y etapas fisiológicas (ver Cuadro 2.1) que también deben ser tomados en cuenta durante el diagnóstico parasitológico (Bowman et al., 2014; Taylor et al., 2016; Reinemeyer y Nielsen, 2016; Nielsen et al., 2019).

Cuadro 2.1: Características generales de los principales parásitos de interés equino.

	Parásito	Ciclo de vida	Localización en el hospedero	Enfermedad que causa
Nematodos	<i>Habronema</i> spp	Indirecto ( <i>Musca domestica</i> )	Estómago	Habronemosis
	<i>Trichostrongylus axei</i>	Directo	Estómago	Trichostrongilosis
	<i>Parascaris</i> spp	Directo	Intestino delgado	Parascariosis
	<i>Strongyloides westeri</i>	Directo	Intestino delgado	Estrongiloidosis
	<i>Strongylus</i> spp	Directo	Intestino grueso	Estrongilosis
	Ciatostominos	Directo	Intestino grueso	Ciatostominosis
	<i>Triodontophorus</i> spp	Directo	Intestino grueso	Estrongilosis
	<i>Oxyuris equi</i>	Directo	Intestino grueso (recto)	Oxyurosis
	<i>Setaria equina</i>	Indirecto ( <i>Culex</i> spp)	Tejido subcutáneo	Setariosis
	<i>Dictyocaulus arnfieldi</i>	Directo	Tráquea y bronquios	Dictiocaulosis
Céstodos	<i>Anoplocephala</i> spp	Indirecto (ácaros oribátidos)	Intestino grueso	Anoplocefalosis
	<i>Echinococcus equinus</i>	Indirecto	Pulmones e hígado	Hidatidosis, equinococosis
Tremátodo	<i>Fasciola hepatica</i>	Indirecto (caracol)	Hígado	Fasciolosis
Artrópodos	Larva de <i>Gasterophilus</i> spp	Parásito obligado	Estómago	Gasterofilosis (miasis)
	<i>Demodex equi</i>	Parásito obligado	Piel	Demodicosis (sarna)
	<i>Sarcoptes scabiei</i>	Parásito obligado	Piel	Sarcoptosis (sarna)
	<i>Haematopinus asini</i>	Parásito obligado	Piel	Pediculosis
Protozoarios	<i>Eimeria</i> spp	Directo	Intestino delgado	Eimeriosis
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Directo	Intestino delgado	Criptosporidiosis
	<i>Giardia intestinalis</i>	Directo	Intestino delgado	Giardiosis
	<i>Sarcocystis neurona</i>	Indirecto (zarigüeya)	Sistema nervioso central	Mieloencefalitis protozoaria equina

En aquellos años los ciatostominos no se consideraron relevantes debido a la

concepción de que *Strongylus vulgaris* tenía mayor potencial de causar enfermedad. Contrario a lo que sucedía hace varias décadas, en el presente los ciatostominos son el principal grupo parasitario patógeno de los equinos (Reinemeyer y Nielsen, 2016; Nielsen et al., 2019).

### 2.3. Los ciatostominos y su ciclo biológico

Los ciatostominos están presentes en todos los caballos en pastoreo y son el principal parásito con potencial patógeno de los equinos (Nielsen et al., 2019). Este grupo parasitario engloba más de 50 especies pertenecientes a la familia *Strongylidae* (Meana y Rojo, 2010; Taylor et al., 2016). Los miembros de esta familia se caracterizan por presentar un ciclo de vida directo (ver Figura 2.2), en el cual, los huevos son depositados en las heces y tres etapas larvarias se desarrollan en el ambiente (Meana y Rojo, 2010; Bowman, 2014; Taylor et al., 2016; Nielsen y Reinemeyer, 2018).

La infección parasitaria ocurre al ingerir la larva del tercer estadio o  $L_3$  que se encuentra en el ambiente. Al entrar en el tracto gastrointestinal, la larva se establece en la mucosa y submucosa del ciego y colon ventral o, en menor medida, colon dorsal. En respuesta al establecimiento de la larva en la mucosa, el hospedero crea una cápsula fibrosa alrededor de la forma infectiva y este proceso se conoce como enquistamiento, donde la larva puede permanecer en hipobiosis por más de dos años e interrumpir su desarrollo cuando las condiciones ambientales son desfavorables para sobrevivir (Taylor et al., 2016; Stancampiano et al., 2017; Nielsen y Reinemeyer, 2018).

Dentro del quiste continúa el desarrollo de la  $L_3$  hacia  $L_4$  y eventualmente la pared del quiste se rompe, permitiendo la salida de la  $L_4$  hacia la luz intestinal; este es el principal evento patológico durante el ciclo de vida de los ciatostominos. Posteriormente en la luz del intestino grueso, la  $L_4$  muda hasta la larva juvenil o preadulto ( $L_5$ ) y finalmente los parásitos alcanzan la madurez sexual (etapa adulta), se da la cópula y la hembra comienza a liberar huevos aproximadamente a las 5

semanas después de la infección (Stancampiano et al., 2017; Nielsen y Reinemeyer, 2018).

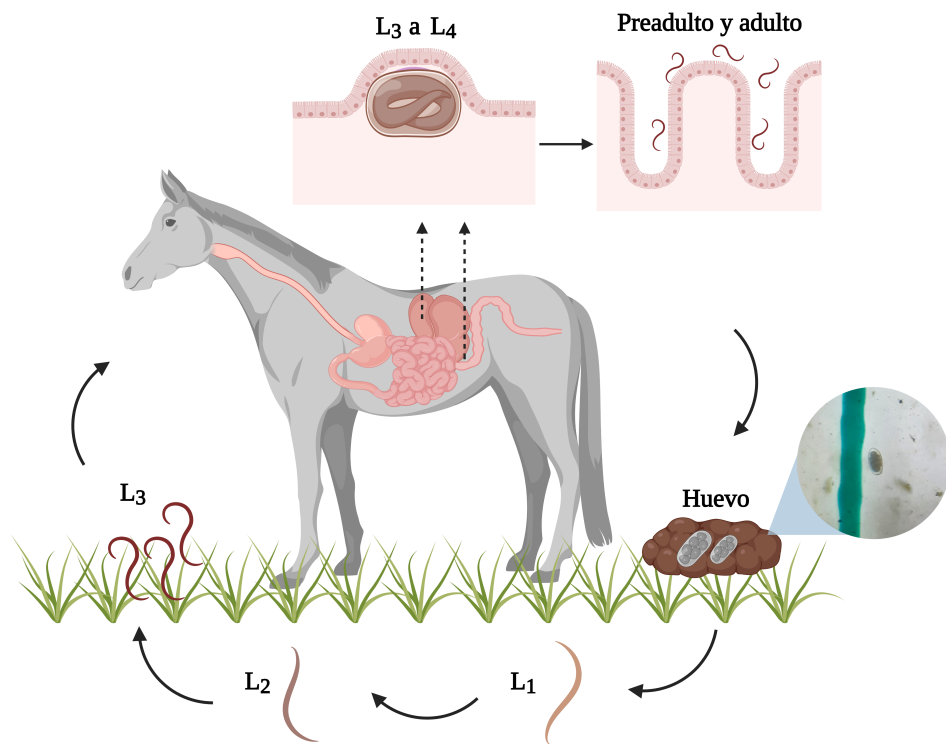


Figura 2.2: Ciclo de vida de los ciatostominos (creado con BioRender.com)

## 2.4. Ciatostominosis larvaria

Como resultado de la sensibilidad del hospedero, el desequilibrio o disbiosis y del principal evento patológico en el ciclo de vida de los ciatostominos, se presentará la enfermedad clínica ocasionada por ciatostominos y adquiere el nombre de ciatostominosis larvaria (Nielsen y Lyons, 2017; Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022a).

La ciatostominosis larvaria es el resultado de la salida abundante de las larvas enquistadas (Figura 2.3) (Walshe et al., 2021), junto con las altas cargas parasitarias acumuladas en la luz y en la mucosa del intestino grueso. Esta enfermedad origina

una tiflocolitis grave, que en su forma aguda tiene una tasa de mortalidad de hasta el 50 % y se manifiesta a través de problemas en el crecimiento y pérdida de peso, presencia o ausencia de diarrea, cólico asociado al compromiso cecal o síndrome de respuesta inflamatoria local y sistémica grave (Nielsen y Lyons, 2017; Walshe et al., 2021).

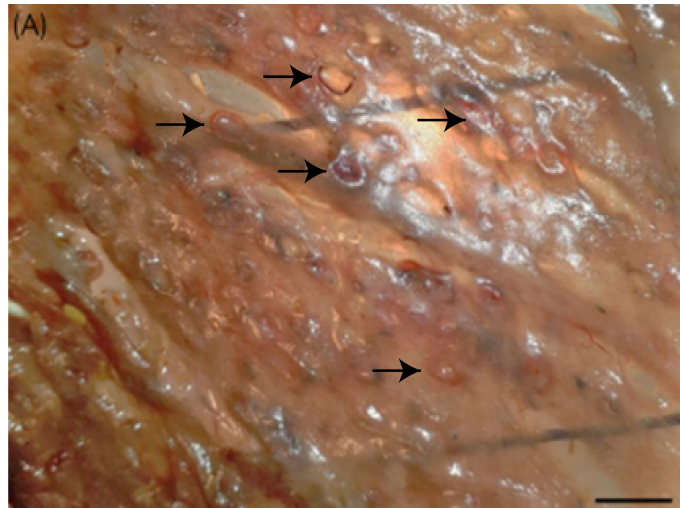


Figura 2.3: Fotografía *post-mortem* del colon ventral de un equino. Las flechas señalan la presencia de múltiples larvas de ciatostominos enquistadas. La barra indica 2 cm. (Imagen obtenida y modificada de Walshe et al., 2021.)

Los factores de riesgo que predisponen la presentación de la ciatostominosis larvaria incluyen la edad, la temporada del año y la previa administración de tratamiento antihelmíntico. Los caballos menores de cinco años son particularmente susceptibles a la enfermedad debido a su corta edad y la falta del desarrollo del sistema inmune. Por otro lado, se han reportado más casos de ciatostominosis larvaria durante el invierno y la primavera, esto asociado a la aparición de larvas en respuesta al desarrollo y expulsión natural de los parásitos adultos. Además, administrar tratamiento antihelmíntico para eliminar a los adultos de la luz intestinal, provoca la salida de las larvas enquistadas para continuar su desarrollo hacia la fase adulta (Nielsen y Lyons, 2017; Zynda et al., 2019; Walshe et al., 2019).

## 2.5. Control convencional de los parásitos

De forma habitual, las prácticas para el manejo y control de los parásitos son realizadas por médicos veterinarios, caballerangos, propietarios u otras personas involucradas en la industria hípica. No obstante, es importante resaltar que la ejecución de dichas prácticas es responsabilidad única del médico veterinario. Esto debido a que es imprescindible realizar el diagnóstico parasitológico porque de lo contrario, la desparasitación se realiza sin conocer la existencia de una u otra especie de parásitos. Así que el control convencional de los parásitos, incluidos los ciatostominos, es por medio de la administración de antihelmínticos como los de la familia de los benzimidazoles como el fenbendazol, que se unen a la  $\beta$ -tubulina impidiendo la formación de microtúbulos, esto interfiere con el metabolismo energético del parásito causando parálisis flácida; las tetrahidropirimidinas como el pamoato de pirantel, que actúan como agonistas colinérgicos dirigidos a los receptores nicotínicos de acetilcolina de los nematodos, interrumpiendo en su sistema neuromuscular causando parálisis espástica; y las lactonas macrocíclicas principalmente la ivermectina y la moxidectina que actúan sobre el ácido gamma amino butírico (GABA), bloqueando la estimulación de las neuronas motoras excitatorias, resultando en parálisis flácida del parásito (Cole et al., 2014; Taylor et al., 2016). Entre estos fármacos, únicamente el fenbendazol y la moxidectina tienen efecto sobre la larva enquistada de los ciatostominos, pero como se mencionó en los factores que predisponen la ciatostominosis larvaria, esto provoca la salida masiva de las larvas enquistadas trayendo consigo procesos de hipersensibilidad, inflamación crónica y cólico (Steuer et al., 2018; Walshe et al., 2020).

El uso indiscriminado de estas moléculas ha ocasionado la aparición de poblaciones de ciatostominos y otros géneros parasitarios resistentes a los antihelmínticos. En México se han reportado casos de resistencia, particularmente a los benzimidazoles (Ramírez-Arias, 2022) y en menor proporción a las lactonas macrocíclicas (Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., *en publicación*). Actualmente, los programas antiparasitarios destinados al control de la infección por ciatostominos se basan en



el uso de lactonas macrocíclicas y de forma reiterada, su abuso ha ocasionado resistencia antihelmíntica (RAH) de ese grupo parasitario a nivel mundial. El fenómeno de la RAH se ha reflejado en la reducción del periodo de reaparición de huevos o *Egg Reappearance Period* (ERP, por sus siglas en inglés) (Cuadro 2.2), es decir, el periodo entre la administración de un fármaco y la detección de huevos en las heces (Molena et al., 2018; Bellaw et al., 2018; Nielsen et al., 2019). La disminución de este periodo también puede explicarse por a) el fenómeno de la RAH de parásitos adultos y de las larvas de ciatostominos enquistadas y b) reaparición de huevos a consecuencia de un estímulo que le ocasionó estrés al hospedero, por ejemplo: movilización a corta y larga distancia, cambio de alojamiento y zona ecológica.

Cuadro 2.2: Periodo de reaparición de huevos en las poblaciones de ciatostominos.

<b>Fármaco antihelmíntico</b>	<b>ERP actualmente (semanas)</b>	<b>ERP en el pasado (semanas)</b>	<b>Semanas para coleccionar una muestra post tratamiento</b>
Fenbendazol/oxibendazol	4 a 5	6	Más de 9
Pamoato de pirantel	4 a 5	5 a 6	Más de 9
Ivermectina	6 a 8	9 a 13	Más de 12
Moxidectina	10 a 12	16 a 22	Más de 16

En la actualidad el periodo de reaparición de huevos de ciatostominos ha disminuido en comparación con el periodo que fue reportado cuando las moléculas fueron recién introducidas, este hecho es relevante porque se suma a las dificultades para el control de los ciatostominos (ver Cuadro 2.2).

Ante este panorama, es necesario explorar y entender los factores involucrados en el parasitismo para encontrar alternativas en el control del grupo parasitario de importancia en este estudio. En ese sentido, el Manejo Integrado de Parásitos en Equinos (MIPE) busca integrar estrategias y herramientas para el control de las afecciones parasitarias.

## 2.6. Manejo Integrado de Parásitos en Equinos

Un punto clave respecto al parasitismo es que el objetivo de un control integrado no es eliminar a los parásitos del hospedero, en cambio, se busca evitar el progreso de la parasitiasis hacia la parasitosis. La finalidad del MIPE es implementar herramientas para el manejo y control parasitario con base en tres principios (Figura 2.4) (Kumar et al., 2012; Maqbool et al., 2016; Torres-Acosta et al., 2016; Martínez-Ortiz-de-Montellano, 2021; Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022b):

### 1. Control del agente parasitario.

El control del agente parasitario mediante el uso de fármacos antihelmínticos, es una alternativa que debe ser utilizada de forma estratégica para garantizar la eficacia y eficiencia del tratamiento y, de esa forma, disminuir la aparición de poblaciones de parásitos resistentes a los fármacos antiparasitarios.

Esta herramienta se implementa a través de la Desparasitación Estratégica, es decir, identificar y tratar a los animales de grupos etarios o etapas fisiológicas susceptibles y, por otro lado, mediante la Desparasitación Selectiva Dirigida. Desde hace más de veinte años se ha recomendado la desparasitación selectiva derivado del surgimiento del fenómeno de RAH.

El principio de la desparasitación selectiva recae en el fenómeno de la superdispersión que con anterioridad fue descrito y permite establecer un tratamiento a través de la identificación de los animales que eliminan más huevos al ambiente. Esta estrategia consiste en examinar a toda la población de animales para conocer la carga parasitaria por medio del conteo de HPG. A partir de la determinación de la carga parasitaria, existirán los bajos eliminadores de huevos, moderados eliminadores y altos eliminadores (Cuadro 2.3) (Nielsen et al., 2019). La distinción entre individuos con base en el porcentaje de eliminación de huevos al medio, permite seleccionar a aquellos que excedan el valor del umbral establecido. Según la *Parasite Control Guidelines* de la *American*

*Association of Equine Practitioners*, el umbral para los altos eliminadores es de 500 HPG, mientras que el *European Scientific Counsel Companion Animal Parasites* establece el umbral de 200 HPG (Kaplan y Nielsen, 2010; Nielsen et al., 2014; Nielsen et al., 2019; ESCCAP, 2020).

Cuadro 2.3: Clasificación de eliminadores de huevos según el conteo de HPG.

Nivel de contaminación	Conteo de HPG	Porcentaje de la población
Bajo	0 a 200	50 a 70
Moderado	200 a 500	10 a 20
Alto	Mayor a 500	20 a 30

En conjunto, para ejecutar con éxito el uso estratégico de las moléculas es necesario a) llevar a cabo el diagnóstico coproparasitológico, a través de la técnica de cultivo larvario para identificar a los géneros de parásitos presentes en la población equina, b) determinar la distribución de la carga parasitaria en el grupo de caballos, por medio del conteo de HPG para identificar a los bajos, moderados y altos eliminadores, c) realizar una prueba de eficacia: la única técnica disponible en caballos para detectar poblaciones de parásitos resistentes o sensibles a determinadas moléculas antihelmínticas es el *Faecal Egg Count Reduction Test* (FECRT, por sus siglas en inglés), d) identificar a los animales que pertenecen a un grupo etario o etapa fisiológica susceptible y en estos animales, e) evaluar los umbrales clínicos del parasitismo como peso vivo y condición corporal, además del examen físico general y f) planificar y realizar programas de desparasitación selectiva.

## 2. Agotar la fuente de contaminación.

En una manada de caballos en pastoreo, el 95 % de los nematodos gastrointestinales se encuentran en la pradera y el 5 % restante está en el interior de los hospederos. De tal forma que, en el ambiente o en la pastura, se desarrollan las

fases larvarias  $L_1$ ,  $L_2$  y  $L_3$ , mientras que en el hospedero se desarrollan las fases juveniles o preadultos y los adultos. Al área dónde estos organismos sobreviven a pesar de las condiciones desfavorables, recibe el nombre de *refugio*. Aunque con respecto a la RAH, el *refugio* además de ser el ambiente, también puede ser el animal que no ha recibido tratamiento antiparasitario y en su interior mantiene la sensibilidad de los parásitos ante las mismas moléculas (Nielsen et al., 2014; Martínez-Ortiz-de-Montellano, 2021; Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022b). La fuente de contaminación se agota cuando se conserva la pradera con bajas cargas parasitarias, por medio del mantenimiento de la pastura limpia para disminuir el riesgo de infección. El tiempo aproximado para que disminuya la infectividad del pasto es de tres a nueve meses para la mayoría de las especies de nematodos gastrointestinales, aunque deben ser considerados el clima y la época del año (Maqbool et al., 2016). Además, estudios demuestran que la colecta de estiércol de los potreros o praderas al menos dos veces a la semana, es una actividad eficaz para el control de strongilidos en équidos (Corbett et al., 2014).

Finalmente, es posible que la eliminación de parásitos disminuya si se implementa el pastoreo entre dos especies de hospederos, esta práctica tiene éxito con el pastoreo mixto de caballos y pequeños rumiantes (Maqbool et al., 2016); junto con el control biológico, que está dirigido a las etapas del ciclo biológico de los parásitos que se desarrollan en el ambiente. Estos agentes actúan interrumpiendo los ciclos de vida, como los artrópodos coprófagos y nematófagos como ácaros, nematodos y hongos micromicetos (Maqbool et al., 2016; Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022b).

### **3. Aumentar la respuesta del hospedero por medio del mejoramiento nutricional.**

El estado nutricional funge un papel muy importante al buscar alternativas para el manejo del parasitismo. El estado nutricional refleja la reserva de nutrientes disponibles en el cuerpo e indica el equilibrio entre las necesidades de

nutrientes y el consumo de los mismos. El desequilibrio, deficiencia o exceso en la ingesta de nutrientes es la desnutrición, misma que reduce la habilidad del hospedero para resistir ante un patógeno. Por esa razón, la nutrición se encuentra estrechamente ligada con el desarrollo de infecciones y juega un papel vital en la prevención y control de enfermedades (Frainer et al., 2018; Nweze et al., 2020; Humphries et al., 2021). Además, según Coop y Kyriazakis (1999), mejorar la nutrición del hospedero tiene influencia sobre la resiliencia y resistencia del mismo ante el parasitismo. Sin embargo, la nutrición y su modificación también ejerce efecto sobre otros organismos que interactúan con el holobionte.

El tipo de dieta y los cambios bruscos en la misma, propician alteraciones de la microbiota intestinal (Walshe et al., 2020; Mousquer et al., 2021). La microbiota intestinal es uno de los ecosistemas más diversos al estar conformada por distintos microorganismos como bacterias, arqueobacterias, parásitos y virus, que influyen directamente en el desarrollo del sistema inmune. Los caballos dependen en gran medida de los microorganismos presentes en el tracto gastrointestinal; de forma particular, el colon y el ciego albergan la mayor población de organismos porque son las regiones donde las bacterias fibrinolíticas fermentan y producen ácidos grasos que se utilizan como fuente de energía (Mousquer et al., 2021; Reed et al., 2021; Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022a). Bajo ciertas circunstancias ocurren cambios en la composición de la microbiota y la inapropiada colonización de diferentes microorganismos, interrumpen con la homeostasis intestinal y ocasionan procesos inflamatorios. Esas alteraciones de la microbiota reciben el nombre de disbiosis (Lindenberg et al., 2019; Garber et al., 2020). Haciendo una recopilación, la presencia de los ciatostominos en la mucosa del ciego y colon, el tipo de dieta y los cambios bruscos en la misma, causan disbiosis de la microbiota intestinal (Walshe et al., 2020; Mousquer et al., 2021). Un ejemplo de esto, es que las dietas ricas en carbohidratos disminuyen la diversidad de los microorganismos desestabilizando el nicho y, por otro lado, las dietas ricas en forraje diversifican los tipos de microorganismos (Mousquer et al., 2021).

Ante la disbiosis ocasionada por la presencia de los ciatostominos en la mucosa del intestino grueso y los umbrales clínicos asociados al parasitismo, resulta imprescindible apoyar la respuesta del hospedero mediante la nutrición. Debido a que la función gastrointestinal adecuada se basa en mantener el equilibrio entre la microbiota intestinal y el estado nutricional del animal porque su asociación da pie al desempeño fisiológico normal, evitando la disbiosis y la aparición de otras afecciones (Mousquer et al., 2021). Mejorar la nutrición a través de una dieta rica en forraje, nutrientes de buena calidad y el uso de suplementos adicionados con probióticos y prebióticos son una opción para estimular al sistema inmunológico de los animales porque su adición diversifica y preserva los microorganismos que habitan la microbiota, de esa forma, la comunidad microbiana se mantendrá en equilibrio (Mousquer et al., 2021).

Además, este principio busca seleccionar a los animales que son genéticamente resistentes a los parásitos, esto es, que su sistema inmune sea capaz de resistir al parasitismo. Por ejemplo, un semental que únicamente es utilizado para la monta u obtención de semen, que se encuentra en un óptimo estado nutricional, con una excelente condición corporal, en condiciones adecuadas de alojamiento y bienestar animal, puede ser un alto eliminador de huevos y presentar cargas parasitarias elevadas, pero con ausencia del desarrollo de la enfermedad clínica ni evidenciar signos clínicos. Al no desparasitar a este animal, el sistema inmune sigue resistiendo a los parásitos y al mismo tiempo, se evita ocasionar disbiosis de la microbiota al administrar un fármaco anti-helmíntico (Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022b).

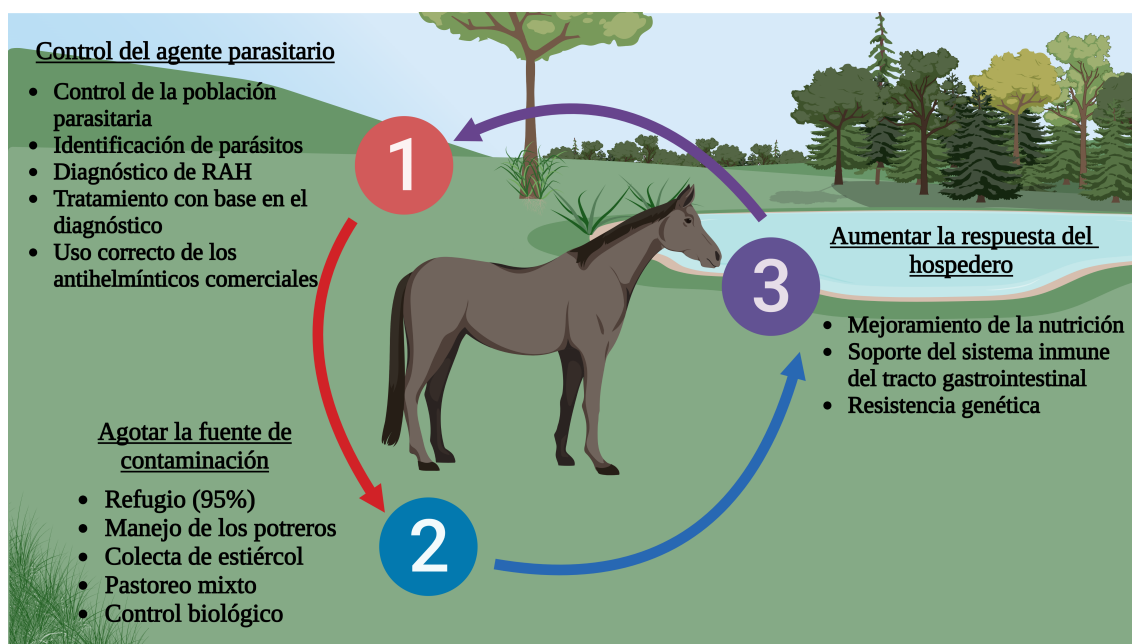


Figura 2.4: Pilares del Manejo Integrado de Parásitos en Equinos (modificado de Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022b y creado con BioRender.com)

## 2.7. Suplementos de soporte digestivo como apoyo al estado nutricional y la salud gastrointestinal equina

En la búsqueda de fortalecer la respuesta del hospedero a través de la nutrición, junto con el hecho de que los ciatostominos generan cambios en la microbiota intestinal y disminuyen la disponibilidad y absorción de nutrientes por parte del hospedero, resulta imprescindible preservar la integridad del intestino para garantizar la absorción de nutrientes y proteger al sistema inmune (Anadón et al., 2019; Walshe et al., 2020).

En la actualidad, las principales herramientas para estimular y reestablecer la microbiota intestinal, incluyen el uso de probióticos y prebióticos. Ambos benefician al hospedero: los probióticos excluyen e impiden la colonización de microorganismos

patógenos y pueden interferir en la fisiología de los nematodos intestinales. Además, sustancias generadas por los probióticos pueden tener efectos antihelmínticos. Por otro lado, los prebióticos son ingredientes que estimulan la actividad de los probióticos (Reda, 2018; Walshe et al., 2020).

Los suplementos de soporte digestivo son fórmulas que contienen probióticos, prebióticos, aminoácidos, vitaminas y minerales. Es sabido, que el tipo de dieta y su disponibilidad de nutrientes como vitaminas y minerales, están directamente relacionadas con la susceptibilidad del hospedero a los parásitos. La vitamina A es esencial para mejorar la integridad del epitelio intestinal, además los animales con dietas deficientes en proteína son más susceptibles a la infección parasitaria debido a la menor producción de inmunoglobulina IgA (Kumar et al., 2012). Incluso, recientemente ha aumentado el interés respecto al uso de los postbióticos (Bourebaba et al., 2022). Los anteriores son metabolitos producidos por los probióticos, como vitaminas, biosurfactantes, péptidoglicanos, polisacáridos, que pueden ser benéficos en el tratamiento de distintos trastornos metabólicos, por medio de sus propiedades antiinflamatorias, antibacterianas, inmunomoduladoras y antioxidantes, que mejoran tanto el sistema inmune como la función intestinal (Bourebaba et al., 2022). Un ejemplo de esto, es la bioproducción de los metabolitos de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* por su potencial efecto antiinflamatorio (Bourebaba et al., 2022).

En México, existe un suplemento destinado a mejorar y cuidar la salud intestinal, que está compuesto por *Aspergillus oryzae*, *Saccharomyces c. boulardii*, *Saccharomyces cerevisiae*, manano oligosacáridos, *Lactobacillus* y L-glutamina, aminoácidos, vitaminas y minerales. Esta fórmula con múltiples cepas ayuda a estabilizar de mejor manera el intestino grueso a diferencia de los suplementos de una sola cepa, al disminuir la cantidad de bacterias productoras de ácido láctico y promoviendo la presencia de bacterias que utilizan lactato, favoreciendo la digestión y salud intestinal (Johnson y Rossow, 2019).



# Capítulo 3

## Justificación

La importancia de este estudio radica en la necesidad de fortalecer la respuesta de los caballos a través de la nutrición con el uso de probióticos y prebióticos presentes en los suplementos de soporte digestivo, esto derivado del impacto de la enfermedad ocasionada por ciatostominos, su interacción con la microbiota intestinal y la aparición de poblaciones de ciatostominos resistentes a los fármacos antihelmínticos.

# Capítulo 4

## Hipótesis

La administración de un suplemento de soporte digestivo tendrá un efecto en la reducción de la carga parasitaria de ciatostominos, la ganancia de peso vivo y el mantenimiento de una óptima condición corporal en potros en pastoreo.

# Capítulo 5

## Objetivo

Determinar el efecto de la administración de un suplemento de soporte digestivo sobre la carga parasitaria de ciatostominos, la ganancia de peso vivo y condición corporal de potros en pastoreo, para contribuir en el manejo y control de las enfermedades parasitarias del equino, a través del diagnóstico parasitológico y la determinación de los umbrales clínicos del parasitismo.

### 5.1. Objetivos particulares

- Observar el efecto indirecto del suplemento de soporte digestivo en el crecimiento y desarrollo de los potros, mediante la estimación de los umbrales clínicos del parasitismo como peso vivo y condición corporal.
- Realizar el conteo de HPG por la técnica de *McMaster* para determinar la carga parasitaria de ciatostominos, tras la administración del suplemento de soporte digestivo.

# Capítulo 6

## Materiales y métodos

## 6.1. Bioética del proyecto

Se siguieron todas las pautas internacionales, nacionales y/o institucionales aplicables para el cuidado y uso de animales, a través del protocolo #0682 sometido y aprobado por el Comité Interno para el Cuidado y Uso de los Animales (CICUA) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## 6.2. Localización

El presente estudio se realizó en el criadero de caballos cuarto de milla de carreras “Rancho Hacienda Santiago”, ubicado en Sierra de Lobos, León Guanajuato, México. El clima preponderante de la zona es en la escala Köppen BSw, caracterizado por ser semiseco estepario con lluvias en verano (García, 2004).

## 6.3. Animales

La investigación fue realizada en 20 potros y potrancas; 13 hembras y 7 machos, en un rango etario de 16 a 19 meses, parasitados naturalmente por ciatostominos, de la raza cuarto de milla y con un rango de peso de 210 a 410 kg.

Los animales se separaron por sexo durante el día desde las 7 am hasta las 5 pm en potreros con dimensiones aproximadas de una a dos ha y por la tarde regresaban a caballerizas individuales para encierro nocturno. Tanto el potrero como el alojamiento cumplen con los criterios de espacio vital según el Consejo Canadiense de Cuidado Animal en su Guía para el cuidado y uso de animales de experimentación (Olfert et al., 1993).

Se les proporcionó agua *ad libitum* y una dieta balanceada sin modificar el

manejo nutricional del criadero, el cual estuvo compuesto por un alimento comercial a ración de cinco kg al día, además tres kg al día de pasto *ray grass* y tres kg al día de alfalfa.

## 6.4. Diseño experimental

Se seleccionó por conveniencia la población total de potros y potrancas, que fueron 20 individuos. Asimismo, sobre esa población se aplicó un muestreo aleatorio estratificado por sexo, donde el criterio de inclusión fue la edad en un rango de 16 a 19 meses y la positividad a una infección por nematodos tipo estrogílido. Inicialmente se seleccionaron 18 animales distribuidos en tres grupos experimentales, conformados por seis animales cada uno; cuatro hembras y dos machos en cada grupo. Después de la primera semana, por conveniencia se agregaron los dos animales restantes, una hembra y un macho, como centinelas del parasitismo (ver Figura 6.1).

- Grupo 1 (G1) conformado por animales que recibieron tratamiento al día 1 con ivermectina 1.87 % en dosis única de 0.2 mg/kg PV por vía oral.
- Grupo 2 (G2) con caballos que al día 1 les fue administrada ivermectina 1.87 % en dosis única de 0.2 mg/kg PV por vía oral, más 174 g de un suplemento comercial de soporte digestivo, ofrecido en dos tomas al día en su alimento durante 30 días; se proporcionó sobre el alimento realizando *top dress*<sup>1</sup> como lo recomienda la marca, por la mañana antes de salir al potrero y por la tarde al regreso para encierro nocturno.
- Grupo 3 (G3) donde los individuos no recibieron tratamiento antihelmíntico y únicamente fueron suplementados durante 30 días de la misma manera que el G2.
- Grupo centinela (Gc) no recibió tratamiento antihelmíntico ni suplementación.

---

<sup>1</sup>Práctica de manejo donde se adiciona el suplemento encima del alimento comercial para asegurar su consumo.

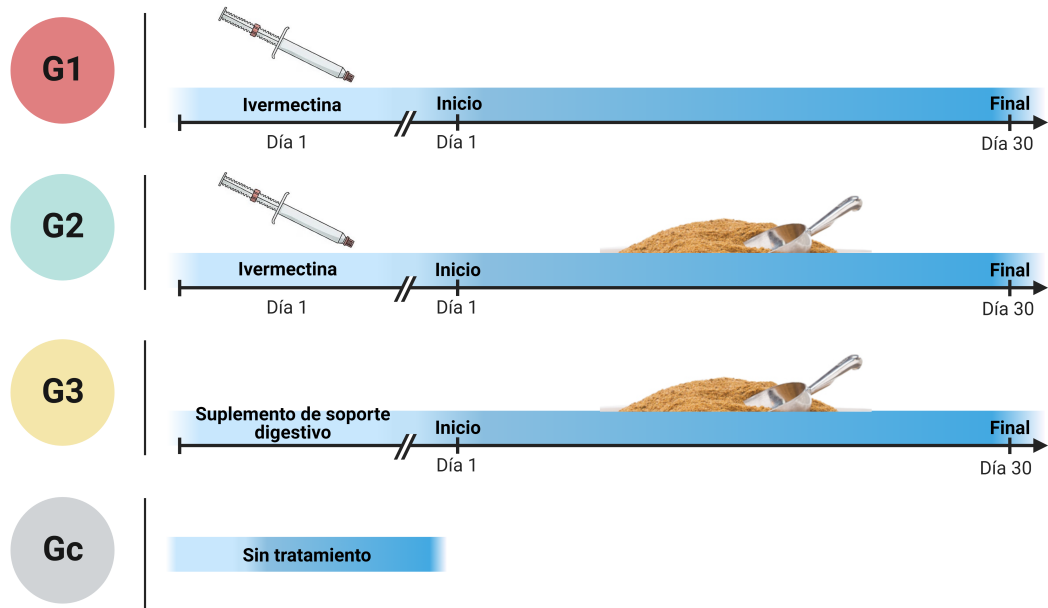


Figura 6.1: Diseño experimental donde se indican las características de cada grupo (creado con BioRender.com)

## 6.5. Obtención de umbrales clínicos

Para fines de este estudio los umbrales clínicos son la estimación del peso vivo, condición corporal y la determinación de HPG.

### 6.5.1. Peso vivo

Semanalmente se estimó el peso de todos los animales con una cinta siguiendo las recomendaciones de Wright en *Estimation du poids vif des chevaux* (Wright, 2010).

### 6.5.2. Condición corporal

La condición corporal de todos los animales se determinó semanalmente en una escala de 0 a 5, siendo 0 mala y 5 sobrepeso (Wright et al., 1998).

### 6.5.3. Determinación de HPG y especies larvarias

Se obtuvieron muestras de heces directamente del recto o de la caballeriza inmediatamente después de observar al animal estercolar con cuidado de no tomar la muestra directamente del suelo. Los muestreos se realizaron diariamente durante 30 días con la finalidad de analizar la eficacia en G1 y G2 y la distribución de la carga parasitaria en G3 y Gc.

Para la determinación de la carga parasitaria, a través del conteo de HPG, se usó la técnica de *McMaster* modificada pre y post tratamiento con una sensibilidad de 50 HPG y un factor de conversión de 50 (Zajac y Conboy, 2012; Nielsen, 2021). Se tomaron y homogeneizaron 2 g de cada muestra fecal en 28 ml de solución de NaCl saturada con una densidad de 1.250. Se filtraron y se transfirieron a la cámara de *McMaster* para el conteo a través de microscopía óptica (10x).

Para conocer las especies de nematodos presentes y asegurar la existencia de los ciatostominos, se realizaron cultivos larvarios (Corticelli y Lai, 1963). Se tomaron 10 g de la muestra fecal, se hidrataron con agua y se aislaron en una incubadora a 24°C durante 12 días (Taylor et al., 2016). Al doceavo día se recolectaron las larvas infectivas ( $L_3$ ) con el dispositivo *Baermann* (Taylor et al., 2016) y se refrigeraron a 4°C para su posterior identificación por microscopía óptica (10x y 40x) (Bevilaqua et al., 1993; Woellner-Santos et al., 2018).



## 6.6. Análisis estadístico

Se creó una base de datos para la captura del conteo de HPG, edad, peso vivo y condición corporal. Los gráficos se realizaron con *GraphPad Prism* (versión 8.0.1). Se realizó estadística descriptiva y análisis de medias (*t test*). Además, con el programa *R* se estableció un modelo lineal mixto y para determinar diferencias por efecto entre grupos, se ejecutó una prueba *t test* con el método *Satterthwaite*. El modelo incluyó los siguientes efectos:

Para HPG:

$$Y_{ijklmn} = \mu + \text{Tratamiento}_i + \text{Sexo}_j + \beta_1 \text{Dia}_k + \text{Edad}_l + \beta_2 \text{Peso}_m + \text{Animal}_n + \epsilon_{ijklmn}$$

Donde  $Y_{ijklmn}$  es HPG;  $\mu$  es la media general;  $\text{Tratamiento}_i$  son los tratamientos proporcionados (G1 ivermectina, G2 ivermectina y suplemento comercial, G3 suplemento comercial, Gc sin tratamiento);  $\text{Sexo}_j$  en dos niveles (hembras y machos);  $\beta_1$  es el coeficiente de regresión para el  $\text{Dia}_k$ ;  $\text{Edad}_l$  en cuatro niveles (16, 17, 18 y 19 meses);  $\beta_2$  es el coeficiente de regresión para el  $\text{Peso}_m$ ;  $\text{Animal}_n$  es el efecto aleatorio de cada animal y  $\epsilon_{ijklmn}$  es el error experimental.

Para el peso:

$$Y_{ijklmn} = \mu + \text{Tratamiento}_i + \text{Sexo}_j + \beta_1 \text{Dia}_k + \text{Edad}_l + \beta_2 \text{HPG}_m + \text{Animal}_n + \epsilon_{ijklmn}$$

Donde  $Y_{ijklmn}$  es el peso;  $\mu$  es la media general;  $\text{Tratamiento}_i$  son los tratamientos proporcionados (G1 ivermectina, G2 ivermectina y suplemento comercial, G3 suplemento comercial, Gc sin tratamiento); en dos niveles (hembras y machos);  $\beta_1$  es el coeficiente de regresión para el  $\text{Dia}_k$ ;  $\text{Edad}_l$  en cuatro niveles (16, 17, 18 y 19 meses);  $\beta_2$  es el coeficiente de regresión para  $\text{HPG}_m$ ;  $\text{Animal}_n$  es el efecto aleatorio de cada animal y  $\epsilon_{ijklmn}$  es el error experimental.

# Capítulo 7

## Resultados

## 7.1. Edad.

Para realizar este trabajo se utilizó una n de 20 potros y potrancas con un rango de edad de 16 a 19 meses. La edad predominante fue de 17 meses (40%), mientras que la edad del 25% de los animales fue de 16 meses, el 30% de 19 meses y el 5% restante de 18 meses (Figura 7.1).

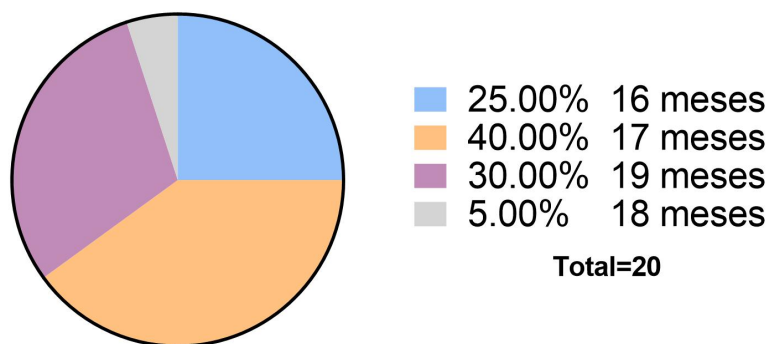


Figura 7.1: Proporción de la edad de todos los animales de experimentación.

## 7.2. Umbrales clínicos del parasitismo

### 7.2.1. Condición corporal

Con base en la clasificación de Wright, durante cuatro semanas la condición corporal de los animales de estudio fue de tres sin variación. Lo anterior significa que presentaron una óptima condición corporal (ver Figuras 7.2-7.5).



Figura 7.2: Fotografías tomadas al concluir el estudio de los seis animales del grupo G1 tratado con ivermectina (publicación de la revista *HorsesMx* en Potros para la Subasta 2021 Ciudad de México).



Figura 7.3: Fotografías obtenidas al finalizar el estudio de los seis potros y potrancas del grupo G2 tratado con ivermectina y el suplemento de soporte digestivo (publicación de la revista *HorsesMx* en Potros para la Subasta 2021 Ciudad de México).



Figura 7.4: Fotografías tomadas al termino del estudio de cuatro animales del grupo G3 sin tratamiento, solo el suplemento de soporte digestivo (publicación de la revista *HorsesMx* en Potros para la Subasta 2021 Ciudad de México).



Figura 7.5: Fotografía de un potro del grupo Gc sin tratamiento y sin suplemento, obtenida al concluir el estudio (publicación de la revista *HorsesMx* en Potros para la Subasta 2021 Ciudad de México).

### 7.2.2. Peso vivo

El análisis de la media por grupos con respecto a la media poblacional (Rogers et al., 2021) reveló que la media del peso vivo de los animales de G1, G2 y G3 es significativamente mayor que 305 kg (con una significancia del 5 %). Sin embargo, no hay evidencia para asegurar que la media del grupo Gc es mayor que 305 kg (Cuadro 7.1).

Cuadro 7.1: Contraste de medias de los grupos experimentales y la media poblacional.

Grupos	n	Media poblacional (kg)	Media por grupos (kg)	<i>P value</i>
<b>G1</b>	6	305	367.2	0.02
<b>G2</b>	6	305	367.8	0.03
<b>G3</b>	5	305	380.7	0.02
<b>Gc*</b>	2	305	337.0	0.99

G1: ivermectina, G2: ivermectina y suplemento de soporte digestivo, G3: suplemento de soporte digestivo, Gc: sin ivermectina y sin suplemento de soporte digestivo; n:número de animales; media poblacional: valor de referencia; Gc\*: se seleccionaron dos animales por conveniencia; *P value* <0.05.

Por otro lado, la prueba para la diferencia de medias entre los grupos experimentales (Cuadro 7.2) evidenció que no hay diferencia significativa entre las medias del peso de los grupos que recibieron tratamiento con ivermectina: G1 y G2 ( $p=0.54$ ) y una diferencia significativa entre los grupos G2 y G3 ( $p=0.04$ ). Contrario a esto, al comparar las medias de los grupos G1, G2 y G3 con el grupo Gc, se demostró que se comportan de manera diferente (con una significancia del 5 %). Del mismo modo, el estudio reveló que el grupo que únicamente recibió ivermectina y el grupo que solamente fue suplementado: G1 y G3 son significativamente diferentes ( $p<0.05$ ).

Cuadro 7.2: Análisis de la diferencia de medias aritméticas del peso entre los cuatro grupos de estudio

$\bar{x}$ del peso (kg)	Grupos	<i>P value</i>
<b>G1 = 367,2</b>	G2	0.54
	G3	0.00
<b>G2 = 367,8</b>	Gc	0.00
<b>G3 = 380,7</b>	G3	0.04
<b>Gc = 337,0</b>	Gc	0.00
	G3 Gc	0.00

G1: ivermectina, G2: ivermectina y suplemento de soporte digestivo, G3: suplemento de soporte digestivo, Gc: sin ivermectina y sin suplemento de soporte digestivo;  $\bar{X}$ : valor del promedio de cada grupo; *P value* <0.05.

Además, de acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 7.3) sobre los efectos que podrían afectar al peso, se encontró que no hay diferencia significativa entre tratamientos ( $p=0.0884$ ); la carga parasitaria no ejerce efecto sobre el peso ( $p=0.6494$ ) y en cuanto al sexo, no hay cambio entre hembras y machos ( $p=0.7078$ ). Asimismo, hay un aumento del peso a través de los días ( $p=<2e-16$ ) (Figura 7.6) y también la edad afecta al peso ( $p=0.0160$ ).

Cuadro 7.3: Análisis de varianza para los efectos que podrían modificar el peso de los animales de estudio.

Efecto	Sum Sq	Media Sq	NumDF	<i>P value</i>
<b>Tratamiento</b>	364.1	121.4	3	0.08842
<b>Sexo</b>	6.5	6.5	1	0.70780
<b>Día</b>	4969.0	4969.0	1	<2e-16
<b>Edad</b>	674.2	224.7	3	0.01609
<b>HPGlog</b>	9.2	9.2	1	0.64945

Sum Sq: valor de la sumatoria de cuadrados; Media Sq: valor de la media de cuadrados; NumDF: grados de libertad; *P value* <0.05.

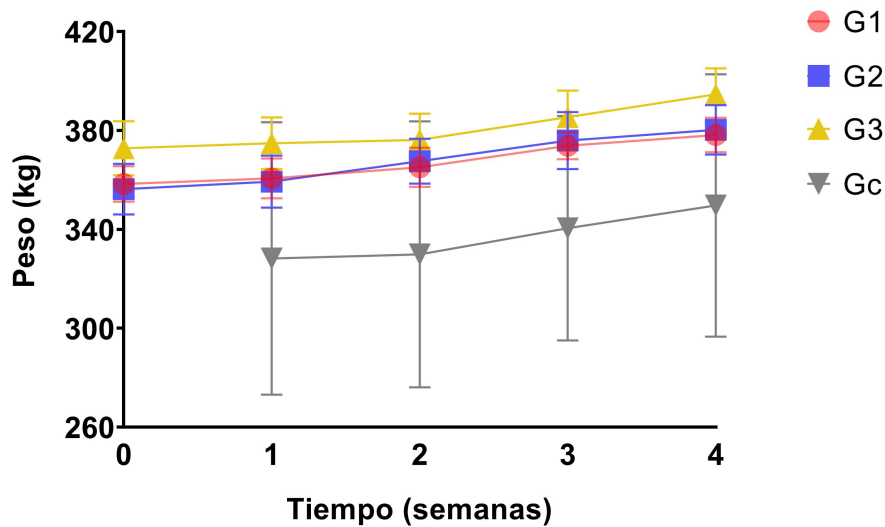


Figura 7.6: Media de la estimación del peso vivo en los grupos experimentales a lo largo de cuatro semanas. G1 de 367.2 kg  $\pm$  8.5; G2 de 367.8 kg  $\pm$  10.34; G3 de 380.7 kg  $\pm$  9.12 y Gc de 337.0 kg  $\pm$  10.

## 7.3. Diagnóstico coproparasitológico

### 7.3.1. Determinación de la carga parasitaria

Para el análisis de las medias aritméticas de los cuatro grupos de estudio con respecto a la media poblacional (Cuadro 7.4), se establecieron dos valores para la media poblacional. El primer valor corresponde al promedio de HPG al día 0, siendo 350 HPG. La prueba expuso que hay evidencia para asegurar que la media HPG de G1 y G2 es menor que 350 HPG ( $p < 0.05$ ). De forma contraria, se encontró que las medias de G3 y Gc son mayores que 350 HPG ( $p > 0.05$ ).

Respecto al segundo valor de la media poblacional (Cuadro 7.4), se estableció el umbral de 500 HPG según Nielsen (2019). El análisis reveló que los grupos se comportaron de forma similar a la comparación con el primer valor. La media de HPG de los grupos G1, G2 y Gc es menor que 500 HPG ( $p < 0.05$ ). En contraste, la media de HPG del grupo G3 es mayor que 500 HPG ( $p < 0.05$ ).



Cuadro 7.4: Contraste de las dos medias poblacionales y la media de los cuatro grupos experimentales.

Grupos	n	$\bar{x}$ poblacional 1 (HPG)	$\bar{x}$ poblacional 2 (HPG)	Media por grupos	<i>P value 1</i>	<i>P value 2</i>
<b>G1</b>	6	350	500	0	0.02	0.02
<b>G2</b>	6	350	500	0	0.04	0.03
<b>G3</b>	5	350	500	600	0.99	0.95
<b>Gc</b>	2	350	500	150	0.04	0.00

G1: ivermectina, G2: ivermectina y suplemento de soporte digestivo, G3: suplemento de soporte digestivo, Gc: sin ivermectina y sin suplemento de soporte digestivo; n: número de animales;  $\bar{x}$  poblacional 1: valor de HPG al día 0;  $\bar{x}$  poblacional 2: (Nielsen et al., 2019); *P value* <0.05.

Asimismo, la prueba para el contraste de medias entre los grupos de estudio (Cuadro 7.5), demostró que no hay diferencias significativas entre los grupos G1 y G2 que recibieron tratamiento antihelmíntico ( $p=0.1862$ ). De forma contraria, hay una diferencia entre los grupos a los que se les administró ivermectina contra el grupo únicamente tratado con el suplemento de soporte digestivo: G1 y G3 ( $p=0.0001$ ), G2 y G3 ( $p=0.0001$ ). En cuanto al grupo Gc, que no recibió tratamiento antihelmíntico ni suplemento de soporte digestivo, al compararlo con G1 ( $p=0.0001$ ), G2 ( $p=0.0001$ ) y G3 ( $p=0.0001$ ) sus medias son significativamente diferentes (ver Figura 7.7).

Cuadro 7.5: Análisis de la comparación de las medias de HPG en los grupos de estudio.

$\bar{x}$ de HPG	Grupos	<i>P value</i>
<b>G1 = 0</b>	G2	0.1862
	G1 G3	0.0001
	Gc	0.0001
<b>G2 = 0</b>	G3	0.0001
	Gc	0.0001
<b>G3 = 600</b>	G2 Gc	0.0001
<b>Gc = 150</b>	G3 Gc	0.0001

G1: ivermectina, G2: ivermectina y suplemento de soporte digestivo, G3: suplemento de soporte digestivo, Gc: sin ivermectina y sin suplemento de soporte digestivo;  $\bar{X}$  de HPG: valor obtenido durante los 30 días de estudio; *P value* <0.05.

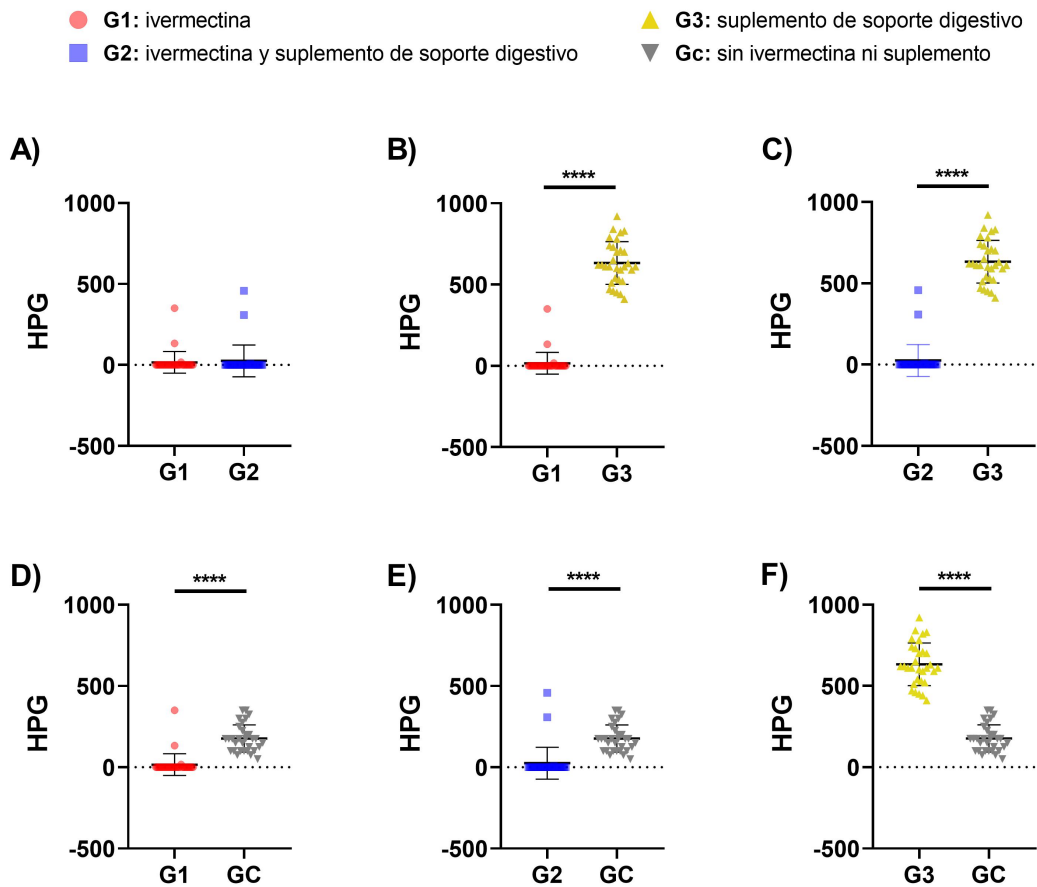


Figura 7.7: Diferencia entre las medias de huevos por gramo de heces de cada grupo experimental. A) G1 vs. G2; B) G1 vs. G3; C) G2 vs. G3; D) G1 vs. Gc; E) G2 vs. Gc; F) G3 vs. Gc. Los datos representan la media  $\pm$  D.S. \*\*\*\* $p=0.0001$

En relación con el análisis de varianza (Cuadro 7.6) sobre los efectos que podrían afectar la carga parasitaria, se encontró que no hay diferencia significativa entre machos y hembras ( $p=0.6891$ ); la edad de los potros y potrancas no afecta la carga parasitaria ( $p=0.4054$ ) y en lo que respecta al peso, no hay diferencias significativas entre las medias de los cuatro grupos experimentales ( $p=0.2992$ ). Además, hay un cambio de la carga parasitaria a través de los días ( $p=7.872e-05$ ) (Figura 7.8) y la clara diferencia significativa entre los tratamientos proporcionados ( $p=1.821e-15$ ) como anteriormente se mencionó.

Cuadro 7.6: Análisis de varianza para los efectos que podrían afectar el valor de HPG en los potros de estudio.

Efectos	Sum Sq	Media Sq	NumDF	<i>P value</i>
Tratamiento	29.1224	9.7075	3	1.821e-15
Sexo	0.0422	0.0422	1	0.6891
Día	4.5065	4.5065	1	7.872e-05
Edad	0.7715	0.2572	3	0.4054
Peso	0.2859	0.2859	1	0.2992

Sum Sq: valor de la sumatoria de cuadrados; Media Sq: valor de la media de cuadrados; NumDF: grados de libertad; *P value* <0.05.

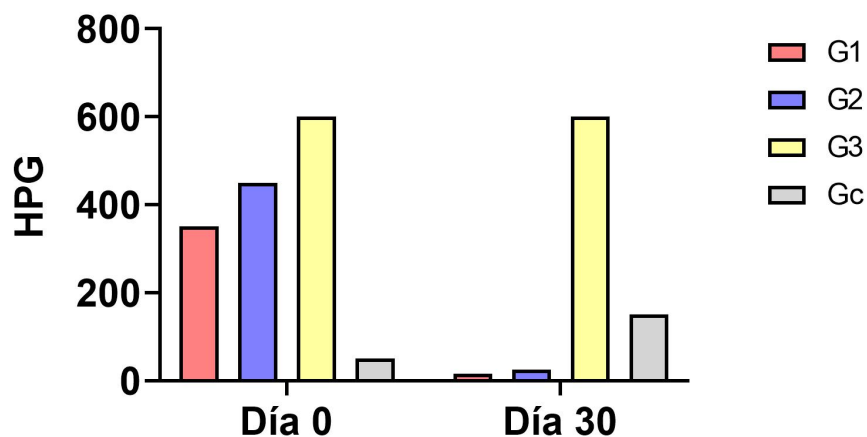


Figura 7.8: Comparación de la media de HPG registrada al día 0 y al final del estudio en los cuatro grupos experimentales.

Por otro lado, para determinar la carga parasitaria se llevó a cabo el conteo de HPG mediante la técnica de *McMaster*. Al respecto, en los animales de los grupos G1 y G2, el conteo de huevos se detuvo al día dos en 10 animales y al día tres en los dos animales restantes, el tratamiento con ivermectina mantuvo la carga parasitaria en cero a lo largo del experimento.

Por otra parte, la media de la carga parasitaria de los animales del grupo Gc fue de 150 HPG. En contraste, la carga parasitaria no disminuyó en el grupo al que únicamente se le proporcionó el suplemento de soporte digestivo y el promedio de HPG fue de 600 durante 30 días. La distribución de HPG para este grupo se presenta en la Figura 7.9, donde el 25 % (primer cuartil) de la población presentó cargas menores a 250 HPG, el 50 % (segundo cuartil) menores a 450 HPG, el 75 % (tercer cuartil) menores a 700 HPG y el 25 % restante cargas superiores a 750 HPG, siendo 0 el valor mínimo registrado y 2600 HPG el valor máximo registrado.

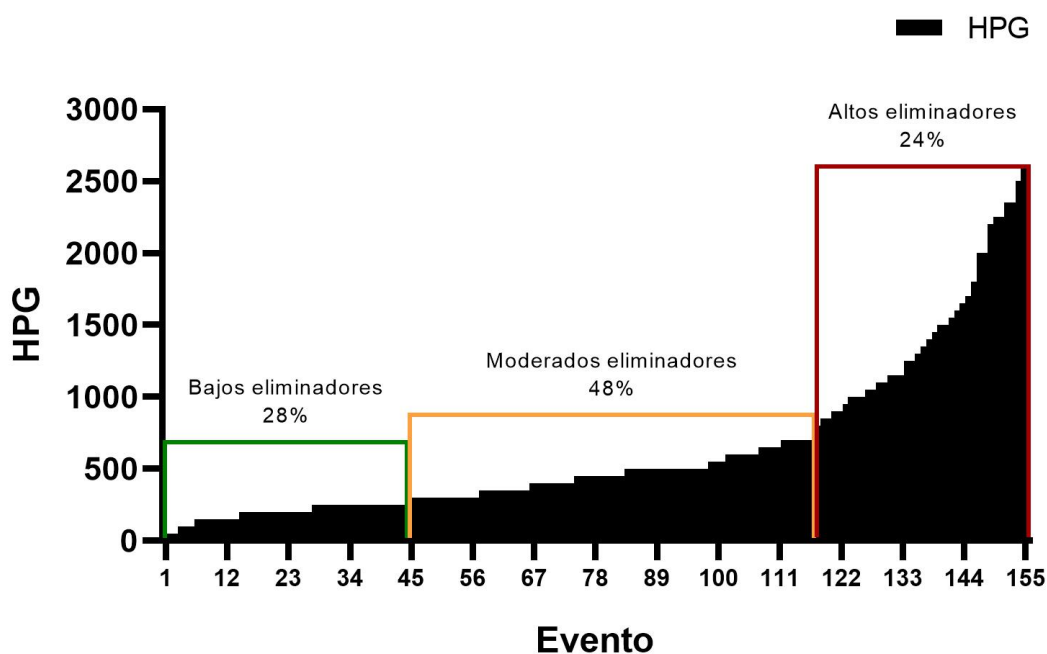


Figura 7.9: Distribución de HPG del grupo G3, al cual únicamente se le administró el suplemento de soporte digestivo en el curso de 30 días e identificación de bajos, moderados y altos eliminadores.

### 7.3.2. Identificación larvaria

En la población de estudio se identificaron 100 larvas infectivas ( $L_3$ ) y se observó que el 94 % corresponden a *Cyathostomum* spp (Figura 7.10). Referente a lo anterior, 90 larvas presentaron ocho células intestinales y las cuatro restantes siete células intestinales (Figura 7.11). Además, la media del largo total de los ciatostominos fue de 780 $\mu$ . En menor proporción se identificó *Gyalocephalus* spp (Figura 7.12-A) con 12 células intestinales y *Triodontophorus* spp con 20 células intestinales (Figura 7.12-B), largo del esófago de 150 $\mu$ , largo del intestino de 450 $\mu$  y ancho de 37.5 $\mu$ .

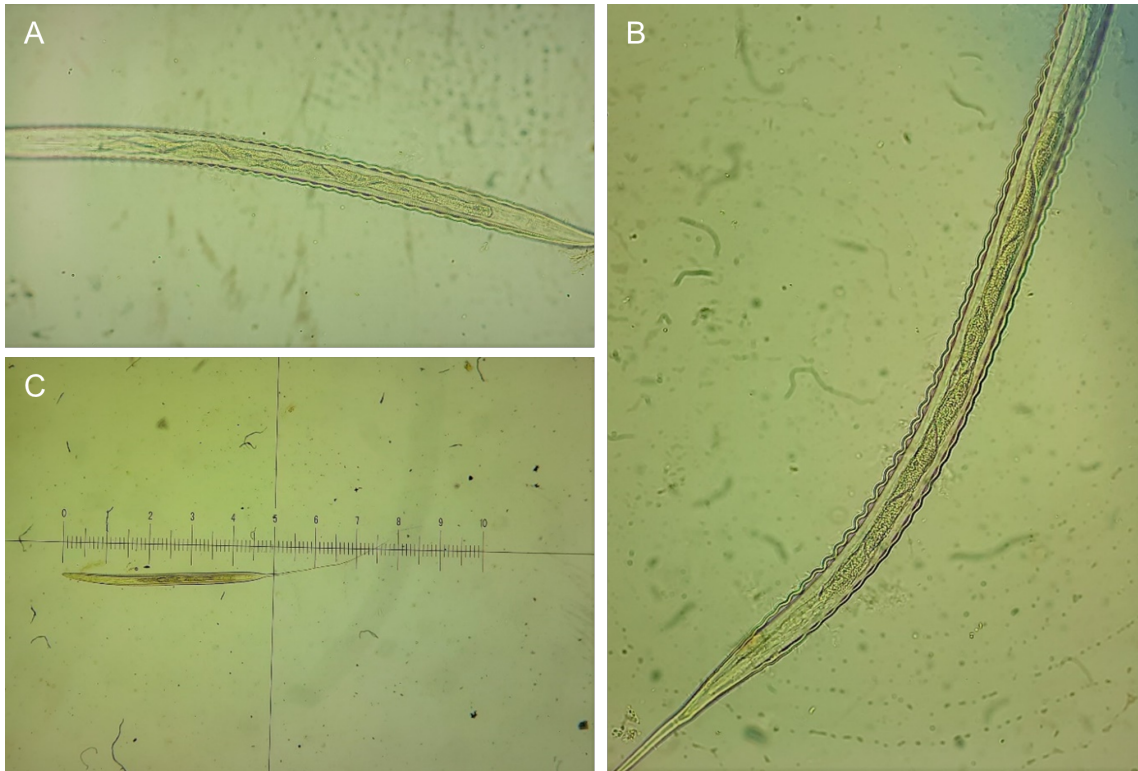


Figura 7.10: Microfotografías obtenidas durante la identificación larvaria. A) y B) Acercamiento de las células intestinales de larvas infectivas de ciatostominos (40x). C) Largo total (780 $\mu$ ) de  $L_3$  de ciatostomino (10x).



Figura 7.11: A) Microfotografía de una larva infectiva de ciatostomino donde se aprecian siete células intestinales (40x); B) Delimitación de las células intestinales de *L*<sub>3</sub> de ciatostomino (40x).

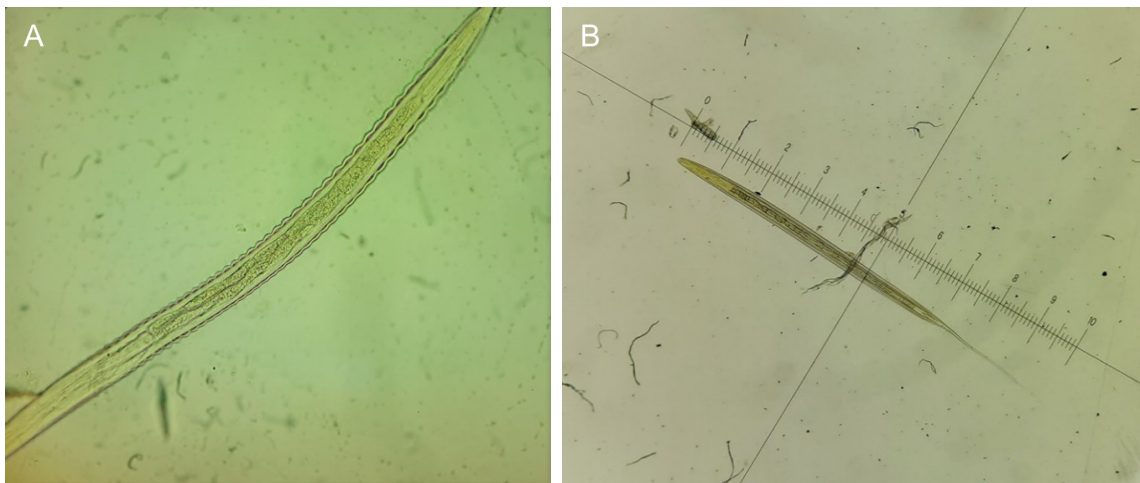


Figura 7.12: A) Microfotografías de células intestinales de *L*<sub>3</sub> infectiva de *Gyalocephalus* spp (40x); B) Largo total (1000 $\mu$ ) de *L*<sub>3</sub> de *Triodontophorus* spp (10x).

# Capítulo 8

## Discusión

El presente estudio evaluó el efecto de un suplemento de soporte digestivo como apoyo al estado nutricional, sobre la carga parasitaria de ciatostominos y los umbrales clínicos del parasitismo como la ganancia de peso vivo y la condición corporal de potros añales en pastoreo.

En el parasitismo, existe una distinción importante entre la infección parasitaria o parasitiasis que hace referencia a la simple presencia del parásito en el hospedero y la enfermedad parasitaria o parasitosis, donde la parasitiasis progresa hasta evidenciar signos clínicos en el hospedero (Nielsen y Reinemeyer, 2018). La susceptibilidad a la parasitosis depende de varios factores, entre ellos, la edad del hospedero (Nielsen y Lyons, 2017). En el marco de la ciatostominosis larvaria, los potros menores de cinco años son, de forma particular, susceptibles a la infección por ciatostominos debido a la falta de desarrollo del sistema inmune (Nielsen y Lyons, 2017; Walshe et al., 2019). Sin embargo, en el presente estudio, a pesar de ser la edad un factor que predispone el desarrollo de la parasitosis, los potros y potrancas durante cuatro semanas no evidenciaron signos clínicos de la enfermedad.

En cuanto a los umbrales clínicos del parasitismo que pueden reflejar el impacto de los ciatostominos en el hospedero, se encontró que la condición corporal de todos los potros y potrancas de estudio, mantuvieron una condición corporal de tres, la cual es ideal (Wright et al., 1998) (ver Figuras 7.2-7.5). Este hecho resalta la importancia de una dieta rica en nutrientes porque a pesar de la parasitiasis en los animales de los grupos G3 y Gc, en contraste con los animales de los grupos G1 y G2 que no estaban parasitados, todos los grupos se comportaron de la misma forma y todos los animales tenían acceso a la misma dieta de excelente calidad como lo establecen varios autores (Hesta y Costa, 2021). Lo anterior significa que el estado nutricional de los caballos, durante las cuatro semanas de estudio, fue vital para la prevención y control de la enfermedad parasitaria. Además, es posible que el estado nutricional apoyado por la suplementación con prebióticos y probióticos en el grupo G3, pudo estimular la respuesta inmune de los animales y reflejar un estado de resiliencia en los potros y potrancas de ese grupo, ya que ninguno a lo largo del estudio, presentó signos clínicos de la enfermedad (Walshe et al., 2020). Contrario a lo que estableció



Chapman (2002) y reforzando la importancia del estado nutricional, los potros de este estudio no perdieron condición corporal a consecuencia del parasitismo.

Por otro lado, se estimó el peso vivo de todos los animales de estudio durante cuatro semanas y, distinto a lo que se podría esperar sobre los efectos del parasitismo manifestados en la pérdida de peso, se encontró que al comparar el valor obtenido del peso al día 0 con el peso obtenido durante cuatro semanas, hubo un aumento a lo largo de los días ( $p < 2e-16$ ) como se puede apreciar en la Figura 7.6. En el grupo Gc, a pesar de que hubo un aumento en el peso, no hubo evidencia para asegurar que el peso a las cuatro semanas fue mayor que el peso del día 0. No obstante, esto puede explicarse debido al número de animales que conforman al grupo Gc, ya que la media del peso obtenida continúa en el rango establecido por Rogers (2021) (ver Cuadro 7.1), donde un potro añal pesa en promedio el 61 % del peso adulto (500 kg) que obtendrá a la edad de cuatro a cinco años (Scott et al., 1989; Rogers et al., 2021).

Asimismo, al contrastar las medias del peso entre grupos experimentales, se evidenció que hubo mayor ganancia de peso en los animales del grupo que únicamente fue suplementado, en comparación con el grupo al que únicamente se le administró ivermectina al día 0 ( $p=0.00$ ) (ver Cuadro 7.2). Este resultado es importante porque comprueba que a) los microorganismos utilizados como probióticos en la alimentación, tienen efecto sobre la microbiota intestinal mejorando el consumo de alimento y la ganancia diaria de peso (Rai et al., 2013) y b) pese a la parasitiasis en los animales de G3 y su ausencia en los animales de G1, ambos grupos aumentaron de peso.

Contrario a esto, no hubo diferencia en el peso de los animales desparasitados (G1 y G2) ( $p=0.54$ ) y hubo diferencia poco significativa entre los grupos G2 y G3 ( $p=0.04$ ), pero al comparar las medias de los grupos G1, G2 y G3 con el grupo Gc son diferentes ( $p=0.00$ ) (ver Cuadro 7.2) y gran parte de este resultado está relacionado con el número de animales que conformaron al grupo Gc. Sin embargo, este fenómeno donde existe poca o nula diferencia entre grupos se puede asociar al mane-

jo nutricional del rancho y al estado nutricional de los animales que le proporciona equilibrio entre las necesidades de nutrientes y el consumo de los mismos, aun cuando está presente el parasitismo. Es evidente que hubo un aumento del peso en todos los grupos de estudio ( $p < 2e-16$ ), pese a que dos grupos están parasitados y los dos restantes no lo están. Lo anterior cuestiona si realmente es necesario proporcionar un tratamiento antihelmíntico cuando los animales parasitados y no parasitados a) mantienen una condición corporal ideal, b) aumenta la ganancia de peso vivo y c) reflejan un estado de resiliencia.

En lo que respecta a los efectos que podrían afectar al peso, se observó que, en los animales de este estudio, bajo circunstancias ambientales, nutricionales y de salud específicas, no hay variación del peso entre hembras y machos ( $p = 0.70780$ ) (ver Cuadro 7.3), considerando que se encuentran atravesando la pubertad (ver Figura 7.1) y las hormonas sexuales de la hembra favorecen su crecimiento en comparación con los machos (Martin-Rosset, 2005). Por su parte, como era de esperarse, la edad influyó en el aumento de peso porque los potros y potrancas continuaban en crecimiento y desarrollo a lo largo del estudio.

Continuando con el efecto de la administración del suplemento de soporte digestivo sobre la carga parasitaria de ciatostominos, se determinó la carga parasitaria por medio del conteo de HPG y se encontró que la media de HPG de los grupos G1 y G2 fue de 0, es decir, se comportaron de la misma forma ( $p < 0.05$ ) (Cuadro 7.4 y Figura 7.7). Ambos grupos al compararlos con el valor de HPG al día 0 ( $p < 0.05$ ) y el valor de HPG establecido por Nielsen (2019) ( $p < 0.05$ ) como umbral de los altos eliminadores de huevos, se encontró que la media de HPG fue menor y ambos grupos se clasificaron como bajos eliminadores de huevos (Nielsen et al., 2019). Dado que la carga parasitaria permaneció en cero en ambos grupos a lo largo del experimento, es notable que la administración de ivermectina tiene efecto contra el parásito al interferir con la propagación de potenciales de acción e inducir parálisis, provocando la incapacidad del parásito para ingerir nutrientes y la muerte (Cole et al., 2014). En este estudio la carga parasitaria se detuvo al día dos en la mayoría de los animales, esto coincide con el tiempo que tarda en actuar la ivermectina como lo señalan

Nielsen y Reinemeyer (2019). Previamente en el rancho donde se realizó este estudio, se llevó a cabo la prueba de eficacia FECRT y reveló que la ivermectina es una molécula eficaz (>95 %) (Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., *en publicación*), por lo tanto, el resultado obtenido en este estudio, continúa comprobando la eficacia de la ivermectina y su pertinencia de uso.

En relación con los grupos G3 y Gc, al compararlos con el valor de HPG obtenido al día 0 y el valor de HPG que Nielsen (2019) establece como umbral de los altos eliminadores de huevos (ver Cuadro 7.4), se reveló que la carga parasitaria en Gc (150 HPG) es menor que 500 HPG, clasificándolos como bajos eliminadores de huevos. Mientras que la carga parasitaria en G3 (600 HPG) fue mayor que 500 HPG, clasificando al grupo como altos eliminadores de huevos. Pese a la posibilidad planteada por Reda (2018) de que los probióticos interfieren con la fisiología de los parásitos intestinales y reducen su virulencia, no se observó una reducción de la carga parasitaria en G3 (consultar Figura 7.8). Frente a este resultado resalta de forma interesante, que la enfermedad por ciatostominos se caracteriza por problemas en el crecimiento y pérdida de peso, presencia de diarrea y cólico asociado al compromiso cecal o síndrome de respuesta inflamatoria local (Nielsen y Lyons, 2017; Walshe et al., 2021). No obstante, al realizar el contraste de la carga parasitaria entre grupos (ver Cuadro 7.5 y Figura 7.7), se evidenció la diferencia entre los grupos que fueron desparasitados (G1 y G2) en comparación con G3 y Gc que no recibieron tratamiento antihelmíntico. Ante esto, los animales de G3 y Gc estuvieron ausentes de manifestaciones clínicas asociadas al dolor abdominal, ausencia de diarrea y contrario a esto, mantuvieron un estado de conciencia alerta o normal, aumentaron de peso y conservaron una condición corporal ideal. En conjunto, estos hechos se pueden asociar a un estado de resiliencia del hospedero, es decir, el mantenimiento de un estado productivo adecuado ante el parasitismo, a causa del óptimo estado nutricional que se otorgó en la dieta (Coop y Kyriazakis, 1999) junto con el suplemento de soporte digestivo que ayuda a estimular y reestablecer la microbiota intestinal (Reda, 2018). Además, el aporte de nutrientes de buena calidad en la dieta como la proteína, permite su utilización en procesos del sistema inmunológico, tales como

la síntesis de anticuerpos, la producción de linfocitos y la producción de citocinas. En contraste, estos procesos se afectan cuando hay una reducción en la utilización de sustratos nutricionales (Wan et al., 1989). Es sabido que la microbiota intestinal es uno de los ecosistemas más diversos y los caballos dependen en gran medida de los microorganismos presentes en el tracto gastrointestinal (Mousquer et al., 2021). Los cambios en la composición de la microbiota, originados por el tipo de dieta, cambios bruscos en la misma y la presencia de los ciatostominos en la mucosa intestinal (Walshe et al., 2020), causan disbiosis y el desarrollo de procesos inflamatorios (Lindenberg et al., 2019; Garber et al., 2020), pero al mejorar la nutrición a través de una dieta rica en forraje, nutrientes de buena calidad y el uso de suplementos adicionados con prebióticos y probióticos, se mantiene el desempeño fisiológico intestinal normal, reflejado en la salud intestinal y la salud equina en general (Mousquer et al., 2021).

Sobre los efectos que podrían afectar la carga parasitaria, autores han señalado que el sexo afecta el conteo de HPG (Kornás et al., 2010; Scala et al., 2020), contrario a esto, en los animales de este estudio el sexo no afectó la carga parasitaria ( $p=0.6891$ ). Además, los factores que tuvieron un efecto sobre la carga parasitaria fueron los días ( $p=7.872e-05$ ) (ver Figura 7.8) y, como se ha mencionado a lo largo de este texto, los tratamientos ( $p=1.821e-15$ ) (ver Figura 7.7). Resultado del cambio de la carga parasitaria a lo largo del experimento, es posible, mediante el fenómeno de la superdispersión, identificar a los bajos eliminadores de huevos, moderados eliminadores y altos eliminadores (Nielsen et al., 2019). Se determinó la distribución de la carga parasitaria en el grupo G3 (ver Figura 7.9), donde únicamente un porcentaje mínimo de la población, es decir, del 20 al 30 % eliminan el 80 % de los huevos al ambiente. Como se mencionó con anterioridad, el conteo de HPG en el grupo G3 fue de 600 HPG y respecto a la determinación del umbral en esta población de animales, el 25 % presentó cargas mayores a 700 HPG. Este umbral rebasa lo establecido por la *AAEP Parasite Control Guidelines* de 2019 que es de 500 HPG. En contraste, el *European Scientific Counsel Companion Animal Parasites* (ESCCAP 2019) considera cargas mayores a 200 HPG altas. Esta gran diferencia en el estable-

cimiento de umbrales para identificar a los animales candidatos a la desparasitación, revela la necesidad de profundizar este tipo de estudios en México para determinar los umbrales según la zona ecológica, el clima, condiciones ambientales y el estado nutricional de los animales porque cada factor varía ampliamente entre países y, por supuesto, dentro del mismo país.

El valor del umbral que se estableció para la población de potros del presente estudio, coincide con una investigación previa no publicada, realizada en el mismo rancho que el presente estudio, en el cual se determinó el umbral de huevos a partir de 700 HPG. Establecer un umbral es una herramienta que debe considerarse junto con la identificación de los animales que por su etapa fisiológica o grupo etario son susceptibles a la parasitosis, por ende, esta herramienta debe ser utilizada estratégicamente para garantizar la eficacia y eficiencia del tratamiento y, de esa manera, reducir la aparición de poblaciones de parásitos resistentes a los fármacos antihelmínticos (Martínez-Ortiz-de-Montellano et al., 2022b), que es un problema importante en el grupo de los ciatostomíneos. Está reportada la resistencia a los fármacos de la familia de los benzimidazoles y actualmente, la alternativa de control es mediante el uso de las lactonas macrocíclicas, pero reiteradamente, hay estudios que informan la disminución en el periodo de reaparición de huevos (ver Cuadro 2.2), es decir, el tiempo que transcurre entre la administración de un fármaco y la detección de huevos en las heces (Molena et al., 2018; Bellaw et al., 2018; Nielsen et al., 2019). Además, en un estudio observacional no publicado en las memorias de AMMVEE 2021, se detectó la posible multiresistencia de *Parascaris* spp hacia la ivermectina, moxidectina, abamectina con praziquantel y oxibendazol, evidenciando una vez más la importancia del manejo de los antiparasitarios porque se extiende a varios géneros de parásitos y no únicamente al grupo de los ciatostomíneos (Calixto-Tlacomulco y Martínez-Ortiz-de-Montellano, 2021).

En otro orden de ideas, al examen coproparasitoscópico, se realizó la identificación larvaria y el género prevalente fue *Cyathostomum* spp (94 %) (ver Figura 7.10). De forma general, este grupo es caracterizado por presentar ocho células intestinales, en este estudio el 4 % presentó siete células intestinales (ver Figura 7.11), clasificán-

dolas como “tipo F” y “medianos” (773–828 $\mu$ ) por el largo total en promedio de 780 $\mu$ , según la identificación de *L*<sub>3</sub> de ciatostominos de Woellner-Santos y colaboradores (2019). Sin embargo, una limitante es lograr la clasificación precisa de las especies porque la identificación a detalle es limitada (Woellner-Santos et al., 2019). En menor proporción se identificó *Gyalocephalus* spp caracterizados por presentar 12 células intestinales (ver Figura 7.12-A) y *Triodontophorus* spp con 20 células intestinales (ver Figura 7.12-B). Un estudio de prevalencia de nematodos gastrointestinales en Etiopía, reveló que el 56.1 % de los parásitos identificados correspondieron a especies de strongílidos: en primer lugar *Cyathostomum* spp, seguido de *Strongylus vulgaris* y *Strongylus edentatus* (Mathewos et al., 2021), mientras que en otro estudio que reunió muestras de équidos de cuatro estados de México, los nematodos mayormente identificados fueron strongílidos (77.9 %), seguido de *Parascaris equorum* (11.3 %), *Oxyuris equi* (2.9 %) y *Strongyloides* (1.4 %) (Villa-Mancera et al., 2020).

Haciendo una recopilación y derivado de este estudio, se sugiere ampliar las investigaciones modificando el número de animales de experimentación, el grupo etario, la zona ecológica, aumentar la duración del estudio y considerar la inclusión de animales con diferente estado nutricional. De acuerdo con la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) y la Federación Ecuéstre Internacional (FEI), en el año 2013 la población mundial de equinos se estimó en 58 millones, de los cuales, el 60 % eran caballos de trabajo, principalmente en países en vías de desarrollo como México y el porcentaje restante perteneció a la industria hípica, ecuestre y de ocio, con base en esa estadística es posible inferir que gran parte de la población equina en el país es utilizada como fuente de trabajo y no como ocio, entendiendo que no todos los animales tienen acceso a una alimentación de buena calidad. Aunado a este panorama, desde hace más de veinte años se ha recomendado la desparasitación selectiva (Kaplan y Nielsen, 2010) y el control convencional de los parásitos en nuestro país ha estado fuera de lo recomendado recayendo en el uso y abuso de las moléculas antihelmínticas. Por lo tanto, este estudio demuestra que a pesar de que la carga parasitaria no disminuyó en el grupo suplementado, los grupos se comportaron de forma similar en cuanto a los umbrales del parasitismo y ningún animal

presentó signos clínicos de la enfermedad, gracias al excelente estado nutricional. Este hecho cuestiona si es necesario administrar un antihelmíntico cuando los animales se encuentran en un óptimo estado nutricional, con una condición corporal ideal, sin desarrollar la enfermedad y promoviendo un estado de resiliencia. Además, de forma indirecta, al promover el uso inteligente y estratégico de los fármacos, los propietarios de caballos a) disminuyen la contaminación de las praderas y la contaminación de los mantos acuíferos con químicos, b) reduce la pérdida económica por antihelmínticos sin eficacia, c) retrasa la aparición de RAH, d) promueve las buenas prácticas y e) fomenta el bienestar animal.

En referencia al aspecto económico, la pasta oral utilizada en este estudio, es altamente eficaz y de la mejor calidad en el mercado. Dicha pasta tiene un precio actual aproximado de \$250.00 M.N. (doscientos cincuenta pesos mexicanos). En la actualidad, el manejo de desparasitación se realiza de forma mensual, a todos los animales del rancho y sin un diagnóstico parasitológico previo. Bajo este enfoque, al considerar únicamente a un animal de un rancho; a lo largo de un año, el propietario habrá comprado \$3000.00 M.N. (tres mil pesos mexicanos) en fármacos antihelmínticos y contribuido en el abuso de los mismos. No obstante, como se mencionó con anterioridad, el manejo de desparasitación actual no se limita a tratar a un solo animal. Así que, en apariencia el costo del fármaco es menor con respecto al costo de un suplemento de soporte digestivo que va desde los \$3489.87 M.N. (tres mil cuatrocientos ochenta y nueve pesos con ochenta y siete centavos mexicanos) hasta los \$8773.14 M.N. (ocho mil setecientos setenta y tres pesos con catorce centavos mexicanos), pero la consecuencia del uso indiscriminado de las moléculas antihelmínticas es la aparición de cepas resistentes de nematodos y cuando es necesario utilizar un fármaco antihelmíntico, su disponibilidad es nula. En contraste, tomar la elección de realizar el diagnóstico coproparasitoscópico, en el Departamento de Parasitología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia tiene un costo de \$65.00 M.N. (sesenta y cinco pesos mexicanos) y en laboratorios privados, aproximadamente \$100.00 M.N. (cien pesos mexicanos). Es evidente que realizar el diagnóstico, como lo señala el MIPE en su primer pilar, nos permite acercarnos al control del agente parasita-

rio e incluso, disminuir las poblaciones de parásitos resistentes. Además, a través de la determinación de la carga parasitaria, permite planear y ejecutar esquemas de Desparasitación Selectiva Dirigida donde sólo se desparasita a los animales que lo necesitan y, de forma indirecta, el costo para el propietario se reduce, al mismo tiempo que se preserva la vida de las moléculas antihelmínticas. Por lo anterior, este trabajo es una evidencia de los resultados obtenidos al llevar a cabo las estrategias que plantea el MIPE porque en conjunto, se identificaron las especies de parásitos de la población equina, se reconocieron a los animales que pertenecen a un grupo etario o etapa fisiológica susceptible (Desparasitación Estratégica) y se evaluaron los umbrales clínicos del parasitismo. Este estudio reconoce la importancia de poner en práctica las herramientas del MIPE y es evidencia del impacto del mejoramiento del estado nutricional para apoyar la respuesta del hospedero ante el parasitismo.



# Capítulo 9

## Conclusión

En conclusión, este estudio demuestra la posibilidad de que la administración del suplemento de soporte digestivo tiene un impacto sobre el mejoramiento de la nutrición y el equilibrio de la macrobiota y la microbiota intestinal, apoyando la respuesta de los potros ante el parasitismo, reflejado en la ganancia de peso vivo, el mantenimiento de una óptima condición corporal y la ausencia de signos clínicos de la enfermedad causada por ciatostominos.

Es necesario explorar y profundizar el impacto de los probióticos y prebióticos en las helmintiasis, así como el uso de los postbióticos dado su potencial antiinflamatorio y mejora tanto de la función intestinal como del sistema inmune.

Este estudio contribuye en el manejo y control de las enfermedades parasitarias en el equino y es parte de una investigación que involucra la relación de la nutrición y la caracterización de la microbiota intestinal en potros naturalmente infectados por ciatostominos.

Finalmente, sobre la base de estos hallazgos, se encontró que la nutrición es un factor fundamental para apoyar la respuesta de los animales ante el parasitismo y una fuerte alternativa para los médicos veterinarios zootecnistas al poner en práctica los pilares del MIPE. Es importante concientizar al médico veterinario especialista

en equinos, a los médicos veterinarios recién egresados, a los estudiantes de medicina veterinaria, a los propietarios de equinos y al personal involucrado en la industria ecuestre, que los parásitos por sí solos no son capaces de causarle daño al caballo, es necesario prestar especial atención en los factores que rodean al equino para ejecutar de forma exitosa el manejo y control del parasitismo.

# Capítulo 10

## Referencias

1. Anadón, A., Ares, A., Martínez-Larrañaga, M, R. y Martínez, M, A., (2019). “Prebiotics and Probiotics in Feed and Animal Health”. En: Gupta, R.C., Srivastava, A. y Lall, R. (Eds). *Nutraceuticals In Veterinary Medicine*. Suiza: Springer Nature, pp. 261-277.
2. Araújo, A. *et al.* (2003). “Parasitism, the Diversity of Life, and Paleoparasitology”, *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 98(SUPPL. 1), pp. 5–11. doi: 10.1590/S0074-02762003000900003.
3. Belgrave, R. L. *et al.* (2013). “Assessment of serum amyloid a testing of horses and its clinical application in A specialized equine practice”, *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 243(1), pp. 113–119. doi: 10.2460/javma.243.1.113.
4. Bellaw, J. L. *et al.* (2018). “Anthelmintic therapy of equine cyathostomin nematodes – larvicidal efficacy, egg reappearance period, and drug resistance”, *International Journal for Parasitology*, 48(2), pp. 97–105. doi: 10.1016/j.ijpara.2017.08.009.
5. Bevilaqua, C. M. L., Rodrigues, M. de L. y Concordet, D. (1993). “Identification of infective larvae of some common nematode strongylids of horses”, *Revue de Médecine Vétérinaire*, 144(12), pp. 989–995.
6. Borges, A. S. *et al.* (2007). “Serum iron and plasma fibrinogen concentrations as indicators of systemic inflammatory diseases in horses”, *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 21(3), pp. 489–494. doi: 10.1892/0891-6640(2007)21[489:SIAPFC]2.0.CO;2.
7. Bourebaba, Y. *et al.* (2022). “Postbiotics as potential new therapeutic agents for metabolic disorders management”, *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 153(March), p. 113138. doi: 10.1016/j.biopha.2022.113138.
8. Bowman D.D. (2014). “Helminths”. En: *Georgis’ Parasitology for Veterinarians*. Missouri, EUA: Elsevier Saunders, pp. 172-176.
9. Calixto-Tlacomulco, F.V. y Martínez-Ortiz-de-Montellano, C. (2021). “Potros pura sangre con probable multirresistencia de *Parascaris spp* en un rancho del estado de México: reporte de caso”, *XXVI Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias*. Ciudad de México, México.
10. Chapman, M. R. *et al.* (2002). “One season of pasture exposure fails to induce a protective resistance to cyathostomes but increases numbers of hypobiotic third-stage larvae”, *Journal of Parasitology*, 88(4), pp. 678–683. doi: 10.1645/0022-3395(2002)088[0678:OSOPEF]2.0.CO;2.

11. Cole, C., Bradford, B. y Maxwell, L. (2014). “Parasiticides for use in horses”. En: *Equine Pharmacology*. EUA: Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons Inc, pp. 88-92.
12. Coop, R. y Kyriazakis, I. (1999). “Nutrition-parasite interaction”, *Veterinary Parasitology*, 84, pp. 187–204. doi: 10.1016/0020-7519(96)00079-3.
13. Corbett, C. J. *et al.* (2014). “The effectiveness of faecal removal methods of pasture management to control the cyathostomin burden of donkeys”, *Parasites and Vectors*, 7(1), pp. 1–7. doi: 10.1186/1756-3305-7-48.
14. Corticelli, B. y Lai, M. (1963). “Ricerche sulla tecnica di coltura delle larve infestive degli strongili gastro-intestinali del bovino”. *Acta Medica Veterinaria*. 9,V/VI.
15. European Scientific Counsel Companion Animal Parasites. (2019). *Guía para el tratamiento y control de las infecciones por parásitos gastrointestinales de los équidos*. ESCCAP, pp. 21-24.
16. Frainer, A. *et al.* (2018). “Parasitism and the Biodiversity-Functioning Relationship”, *Trends in Ecology and Evolution*, 33(4), pp. 260–268. doi: 10.1016/j.tree.2018.01.011.
17. Garber, A., Hastie, P. y Murray, J. A. (2020). “Factors Influencing Equine Gut Microbiota: Current Knowledge”, *Journal of Equine Veterinary Science*, 88, pp. 102943. doi: 10.1016/j.jevs.2020.102943.
18. García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
19. Gause, W. C. y Maizels, R. M. (2016). “Macrobiota - helminths as active participants and partners of the microbiota in host intestinal homeostasis”, *Current Opinion in Microbiology*, 32, pp. 14–18. doi: 10.1016/j.mib.2016.04.004.
20. Hesta, M. y Costa, M. (2021). “How Can Nutrition Help with Gastrointestinal Tract–Based Issues?”, *Veterinary Clinics of North America - Equine Practice*, 37(1), pp. 63–87. doi: 10.1016/j.cveq.2020.12.007.
21. Humphries, D.L., Scott, M.E. y Vermund, S.H. (2021). “Pathways Linking Nutritional Status and Infectious Disease: Causal and Conceptual Frameworks”. En: *Nutrition and Infectious Diseases*. Cham, Suiza: Springer International Publishing, pp. 3-5.
22. Johnson, A. C. B. y Rossow, H. A. (2019). “Effects of two equine digestive aid supplements on hindgut health”, *Translational Animal Science*, 3(1), pp. 28–37. doi: 10.1093/tas/txy103.

23. Kaplan, R. M. y Nielsen, M. K. (2010). “An evidence-based approach to equine parasite control: It ain’t the 60s anymore”, *Equine Veterinary Education*, 22(6), pp. 306–316. doi: 10.1111/j.2042-3292.2010.00084.x.
24. Kornaś, S. *et al.* (2010). “Horse infection with intestinal helminths in relation to age, sex, access to grass and farm system”, *Veterinary Parasitology*, 174(3–4), pp. 285–291. doi: 10.1016/j.vetpar.2010.09.007.
25. Kumar, N. *et al.* (2012). “Internal parasite management in grazing livestock”, *Journal of Parasitic Diseases*, 37(2), pp. 151–157. doi: 10.1007/s12639-012-0215-z.
26. Lester, H. E. *et al.* (2017). “Analysis of Strongyle Egg Shedding Consistency in Horses and Factors That Affect It”, *Journal of Equine Veterinary Science*, 60, pp. 113–119. doi: 10.1016/j.jevs.2017.04.006.
27. Lindenberg, F. *et al.* (2019). “Development of the equine gut microbiota”, *Scientific Reports*, 9(1), pp. 1–9. doi: 10.1038/s41598-019-50563-9.
28. Long, A. y Nolen-Walston, R. (2020). “Equine Inflammatory Markers in the Twenty-First Century: A Focus on Serum Amyloid A”, *Veterinary Clinics of North America - Equine Practice*, 36(1), pp. 147–160. doi: 10.1016/j.cveq.2019.12.005.
29. Maqbool, I. *et al.* (2016). “Integrated parasite management with special reference to gastrointestinal nematodes”, *Journal of Parasitic Diseases*, 41(1). doi: 10.1007/s12639-016-0765-6.
30. Martínez-Ortiz-de-Montellano, C. (2021). “Manejo Integrado Parasitario Equino”, *Diplomado en Medicina, Cirugía y Producción en Equinos. Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Equinos*. Ciudad de México, México.
31. Martínez-Ortiz-de-Montellano, C. *et al.* (2022a). “Concepción integrativa del parasitismo: redefiniendo nuevos conceptos”. *Bioagrociencias*, 15(2), pp: 48-59.
32. Martínez-Ortiz-de-Montellano, C. *et al.* (2022b). “Manejo Integrado de Parásitos en Pequeños Rumiantes”, *Bioagrociencias*, 15(2), pp. 1–10.
33. Martin-Rosset, W. (2005). “Growth and development”. En: Juliand, V. y Martin-Rosset, W. (Eds), *The growing horse: nutrition and prevention of growth disorders*. Dijon, Francia; Wageningen Academic Publishers, pp. 34-39.

34. Mathewos, M. *et al.* (2021). “Prevalence of Gastrointestinal Helminthiasis in Horses and Donkeys of Hawassa District, Southern Ethiopia”, *Veterinary Medicine International*, 2021. doi: 10.1155/2021/6686688.
35. Meana, A. y Rojo, F.A. (2010). “¿Por qué hay tantas especies de ciatostominos en el intestino grueso de los équidos?” En: *87 Q&A sobre parasitología equina*. España: Servet, p. 67.
36. Molena, R. A. *et al.* (2018). “Cyathostomine egg reappearance period following ivermectin treatment in a cohort of UK Thoroughbreds”, *Parasites and Vectors*, 11(1), pp. 1–8. doi: 10.1186/s13071-018-2638-6.
37. Mousquer, M. A. *et al.* (2021). “Factors influencing the composition and balance of foals’ microbiota.”, *Research, Society and Development*, 10, pp. 1–10. doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.17778>.
38. Murray, G., Munstermann, S. y Lam, K. (2013). “Beneficios y retos que implica la expansión mundial de los eventos ecuestres: nuevas normas para la población de caballos de competición y zonas libres de enfermedades equinas en los países.” *81ª Sesión General Asamblea Mundial. Organización Mundial de Sanidad Animal*. París, Francia.
39. Nielsen, M. K. (2021). “Parasite faecal egg counts in equine veterinary practice”, *Equine Veterinary Education*, pp. 1–8. doi: 10.1111/eve.13548.
40. Nielsen, M. K. *et al.* (2014). “Anthelmintic resistance in equine parasites-Current evidence and knowledge gaps”, *Veterinary Parasitology*, 204(1–2), pp. 55–63. doi: 10.1016/j.vetpar.2013.11.030.
41. Nielsen, M. K. y Lyons, E. T. (2017). “Encysted cyathostomin larvae in foals – progression of stages and the effect of seasonality”, *Veterinary Parasitology*, 236, pp. 108–112. doi: 10.1016/j.vetpar.2017.02.013.
42. Nielsen, M. K., Pfister, K. y Von Samson-Himmelstjerna, G. (2014). “Selective therapy in equine parasite control-Application and limitations”, *Veterinary Parasitology*, 202(3–4), pp. 95–103. doi: 10.1016/j.vetpar.2014.03.020.
43. Nielsen, M.K. y Reinemeyer, C.R. (2018). “Anthelmintic Resistance”. En: *Handbook of Equine Parasite Control*. EUA: Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons Inc, p. 99.

44. Nielsen, M.K. y Reinemeyer, C.R. (2018). “Biology and life cycles of equine parasites”. En: *Handbook of Equine Parasite Control*. EUA: Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons Inc, p. 3-10.
45. Nielsen, M.K. y Reinemeyer, C.R. (2018). “Pathology of parasitism and impact on performance”. En: *Handbook of Equine Parasite Control*. EUA: Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons Inc, p. 25.
46. Nielsen, M.K., *et al.* (2019). “AAEP Parasite Control Guidelines”. EUA: American Association of Equine Practitioners, pp: 1-24.
47. Nweze, J. A., Nweze, E. I. y Onoja, U. S. (2020). “Nutrition, malnutrition, and leishmaniasis”, *Nutrition*, 73, p. 110712. doi: 10.1016/j.nut.2019.110712.
48. Olfert, E., Cross, B. y Mc William, A. (1993). *Guide to the Care and Use of Experimental Animals Volume 1 , 2nd Edition*.
49. Pascual, I. P., Martínez, A. R. y Moral, S. de la F. (2022). “Microbiota-host interactions”, *Medicine (Spain)*, 13(49), pp. 2843–2852. doi: 10.1016/j.med.2022.02.010.
50. Rai, V., Yadav, B. y Lakhani, G. P. (2013). “Application of probiotic and prebiotic in animals production: a review.”, *Environment and Ecology*, 31(June), pp. 873–876. Available at: <http://www.cabdirect.org/abstracts/20133306946.html>.
51. Ramírez-Arias, M. (2022). *Evaluación de la actividad parasiticida del fenbendazol con énfasis en strongílidos en un criadero de caballos warmblood ubicado en una zona ecológica templada subhúmeda de México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
52. Reda, A. A. (2018). “Probiotics for the Control of Helminth Zoonosis”, *Journal of Veterinary Medicine*, 2018, pp. 1–9. doi: 10.1155/2018/4178986.
53. Reed, K. J. *et al.* (2021). “The pelvic flexure separates distinct microbial communities in the equine hindgut”, *Scientific Reports*, 11(1), pp. 1–10. doi: 10.1038/s41598-021-83783-z.
54. Reinemeyer, C. R. y Nielsen, M. K. (2016). “Control of helminth parasites in juvenile horses”, *Equine Veterinary Education*, 29(4), pp. 225–232. doi: 10.1111/eve.12541.



55. Roberts L.S., Schmidt G.D., Janovy, J. y Nadler, S. (2013). "Introduction to Parasitology". En: *Foundations of parasitology*. Nueva York, EUA: McGraw-Hill, pp. 2-5.
56. Rogers, C. W., Gee, E. K. y Dittmer, K. E. (2021). "Growth and bone development in the horse: When is a horse skeletally mature?", *Animals*, 11(12), pp. 1–14. doi: 10.3390/ani11123402.
57. Scala, A. *et al.* (2020). "Gastrointestinal strongyles egg excretion in relation to age, gender, and management of horses in Italy", *Animals*, 10(12), pp. 1–12. doi: 10.3390/ani10122283.
58. Schwartz, D. *et al.* (2018). "Analytical validation of a new point-of-care assay for serum amyloid a in horses", *Equine Veterinary Journal*, 5(1), pp. 678–683. doi: 10.1111/evj.12807.
59. Scott, B.D. *et al.* (1989). "Growth and feed utilization by yearling horses fed added dietary fat", *Equine Veterinary Science*, 9, pp. 210-214. [https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(89\)80054-1](https://doi.org/10.1016/S0737-0806(89)80054-1)
60. Stancampiano, L. *et al.* (2017). "Are small strongyles (Cyathostominae) involved in horse colic occurrence?", *Veterinary Parasitology*, 247(July), pp. 33–36. doi: 10.1016/j.vetpar.2017.09.020.
61. Steuer, A. E., Loynachan, A. T. y Nielsen, M. K. (2018). "Evaluation of the mucosal inflammatory responses to equine cyathostomins in response to anthelmintic treatment", *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 199(August 2017), pp. 1–7. doi: 10.1016/j.vetimm.2018.02.011.
62. Taylor, M.A., Coop, R.L. y Wall, R.L. (2016). "Laboratory diagnosis of parasitism". En: *Veterinary Parasitology*. Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell, pp. 259-269.
63. Taylor, M.A., Coop, R.L. y Wall, R.L. (2016). "The epidemiology of parasitic diseases". En: *Veterinary Parasitology*. Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell, pp. 336, 337
64. Taylor, M.A., Coop, R.L. y Wall, R.L. (2016). "Veterinary Helminthology". En: *Veterinary Parasitology*. Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell, pp. 1-35

65. Torres-Acosta, J. F. *et al.* (2016). “REVALORIZANDO EL USO DE LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA PARA LA PRODUCCIÓN DE RUMIANTES”, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19(1), pp. 73–80.
66. Villa-Mancera, A. *et al.* (2021). “Prevalence and risk factors of gastrointestinal nematode infestation of horses, donkeys and mules in tropical, dry and temperate regions in Mexico”, *Parasitology International*, 81(November 2020), pp. 3–6. doi: 10.1016/j.parint.2020.102265.
67. Walshe, N. *et al.* (2019). “Removal of adult cyathostomins alters faecal microbiota and promotes an inflammatory phenotype in horses”, *International Journal for Parasitology*, 49(6), pp. 489–500. doi: 10.1016/j.ijpara.2019.02.003.
68. Walshe, N. *et al.* (2020). “No worm is an island; the influence of commensal gut microbiota on cyathostomin infections”, *Animals*, 10(12), pp. 1–13. doi: 10.3390/ani10122309.
69. Walshe, N. *et al.* (2021). “Outbreak of acute larval cyathostominosis – A “perfect storm” of inflammation and dysbiosis”, *Equine Veterinary Journal*, 53(4), pp. 727–739. doi: 10.1111/evj.13350.
70. Wan, J. M., Haw, M. y Blackburn, G. (1989). “Nutrition, immune function, and inflammation: an overview”, *Proceedings of the Nutrition Society*, 48, pp. 315–335.
71. Warburton, E. M. y Vonhof, M. J. (2018). “From individual heterogeneity to population-level overdispersion: quantifying the relative roles of host exposure and parasite establishment in driving aggregated helminth distributions”, *International Journal for Parasitology*, 48(3–4), pp. 309–318. doi: 10.1016/j.ijpara.2017.10.005.
72. Woellner-Santos, D., Madeira de Carvalho, L. M. y Molento, M. (2018). “Identification of third stage larval types of cyathostomins of equids: An improved perspective”, *Veterinary Parasitology*, 260(August), pp. 49–52. doi: 10.1016/j.vetpar.2018.08.007.
73. Wright, B. (2010). “Estimation du poids vif des chevaux”. En: *Prévention des maladies des chevaux et des animaux non traditionnels. Ministère de L'agriculture, de L'alimentation et des Affaires Rurales. Ontario, Canada*
74. Wright, B., Rietveld, G. y Lawlis, P. (1998). “Body condition scoring of horses”. En: *Ministry of agricultura, food and rural affairs. Ontario, Canada.*

75. Zajac, A.M. y Conboy, G.A. (2012). "Fecal Examination for the Diagnosis of Parasitism". En: *Veterinary Clinical Parasitology*. Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell, pp. 3-11.
76. Zynda, H. M. *et al.* (2019). "Encysted cyathostomin larval counts: Mucosal digestion revisited", *Veterinary Parasitology*, 273(June), pp. 86–89. doi: 10.1016/j.vetpar.2019.08.009.