



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

CAMPUS LOMA BONITA

LICENCIATURA EN ZOOTECNIA

**MORTALIDAD LARVARIA INDUCIDA POR AMITRAZ,
CIPERMETRINA E IVERMECTINA EN
SUBPOBLACIONES DE GARRAPATA *Rhipicephalus
microplus* EN LOMA BONITA, OAXACA**

TESIS

**PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN ZOOTECNIA**

PRESENTA

JORGE VAZQUEZ RONQUILLO

DIRECTOR

DR. CECILIO UBALDO AGUILAR MARTINEZ

LOMA BONITA, OAXACA, MEXICO, 2024



Universidad del Papaloapan

FECHA:	4 de Abril del 2024
AREA:	Vice-Rectoría Académica
OFICIO NÚMERO:	UNPA/VRA/104/2024
ASUNTO:	Autorización de Impresión de tesis.

C. JORGE VÁZQUEZ RONQUILLO
P R E S E N T E:

En base al artículo 120 del reglamento de alumnos, por medio de la presente se aprueba la impresión de la tesis titulada "**Mortalidad larvaria inducida por amitraz, cipermetrina e ivermectina en subpoblaciones de garrapata *Rhipicephalus microplus* en Loma Bonita, Oaxaca**" así como la programación del examen profesional bajo la dirección del Dr. Cecilio Ubaldo Aguilar Martínez.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente.
terra ubérrima, mens aperta
Bou Lo-tama, chi jí jú



109
MC. HÉCTOR DOPEZ ARJONA
Vice-Rector Académico. VICE-REC · ORIA
ACADEMICA

C.c.p. Dra. Gladis Morales Terán. Jefe de Carrera de la Lic. En Zootecnia
C.c.p. L.P. Yesenia Barrientos Arenal. Jefa del Departamento de Servicios Escolares
C.c.p. Dr. Cecilio Ubaldo Aguilar Martínez. Director de Tesis.
C.c.p. Archivo.

OAXACA



Universidad del Papaloapan

Terra Uberrima. Mens Aperta

Licenciatura en Zootecnia

Oficio número JCLZ/60/2024

Asunto: Asignación de sinodales de examen profesional
Loma Bonita, Oaxaca a 03 de abril del 2024

M.E. Yesenia Barrientos Arenal
Jefa del Departamento de Servicios Escolares
PRESENTE

Mediante la presente, le informo que esta jefatura, con el visto bueno de la Vice-rectoría Académica, ha designado a los siguientes profesores como sinodales del examen profesional del egresado **C. Jorge Vázquez Ronquillo**, quien defenderá su trabajo de tesis titulado "**Mortalidad larvaria inducida por amitraz, cipermetrina e ivermectina en subpoblaciones de garrapata *Rhipicephalus microplus* en Loma Bonita, Oaxaca**", para obtener el título de Licenciado en Zootecnia.

Titulares:

Presidente: Dr. Wilber Hernández Montiel
Secretario: Dra. Amada Isabel Osorio Teran
Vocal: Dr. Cecilio Ubaldo Aguilar Martínez

Suplentes:

Dr. Nicolás Valenzuela Jiménez
M.C. Julián Cotera Rivera

Sin más por el momento, le envió un cordial saludo.



Dra. Gladis Morales Terán
Jefa de Carrera de Lic. en Zootecnia

Atentamente



M.C. Héctor López Arjona
Vice Rector Académico

C.c.p.: M.C. Héctor López Arjona. Vice Rector Académico. Para su conocimiento
C.c.p.: Archivo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por permitirme culminar esta etapa de mi vida, al darme salud y bendecirme en aquellos momentos difíciles que viví.

De igual manera, agradezco infinitamente a mis padres, Francisco y Aracely que han sido motivación y apoyo para seguir día con día. Agradezco el amor y comprensión que me han brindado, ya que esto me ha hecho ser la persona que soy; por ello son lo más importante que tengo en esta vida terrenal.

A mis abuelos Nicolas, Isabel y Antonina que siempre me dieron y me han dado su amor y comprensión. A mis tíos Roberto, Benigno, Sergio y otros más, por toda la motivación que me brindaron en el transcurso de estos años.

A mis primos y amigos que siempre han estado al pie del cañón cuando los he necesitado.

A todos los maestros de la UNPA que han tenido paciencia, comprensión y dedicación para que pueda obtener un poco de su sabiduría y conocimiento.

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos son para la Universidad del Papaloapan, por darme las herramientas académicas necesarias para poder aspirar a una profesión y por haber contribuido en mi formación como Zootecnista.

Por otro lado, agradezco a mi director de tesis, Dr. Cecilio Ubaldo Aguilar Martínez, quien me ha apoyado para terminar con este trabajo. Sin él, esto no sería posible, así como también a mis revisores de tesis Dra. Amada Isabel Osorio Terán y al Dr. Wilber Hernández Montiel por su trabajo arduo.

También tengo que agradecer a todos los profesores, al Dr. Nicolas, Dra. Tania, Dra. Kido, Dra. Gladis, Dr. José Manuel, Dr. Wilber, Dr. Miguel Ángel, Dr. Rueda, Dr. César Julio, Mtro. Medel, Mtro. Coterá y, por último, pero no menos importante a mi director de tesis el Dr. Ubaldo que fueron un pilar para mi formación profesional. Ellos fueron los guías durante mi formación académica y me orientaron siempre de manera congruente en las dudas que me surgieron en el transcurso de estos años y me transmitieron lo que aprendieron en su trayectoria profesional.

De igual manera, a todas esas las personas que fueron amables y serviciales dentro y fuera de la Universidad del Papaloapan.

Por último, agradezco a la Secretaría de Educación Pública, quien mediante el apoyo 511-6/2020-8639 del programa Apoyo a la Incorporación de NPT, hizo posible la compra de diversos equipos que se utilizaron en los bioensayos realizados en la presente investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. HIPÓTESIS	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. La garrapata <i>R. microplus</i> y su impacto en la ganadería doble propósito	5
4.1.1. Daños directos	5
4.1.2. Daños indirectos.....	6
4.1.3. Impacto en la ganadería bovina.....	6
4.1.4. Daño a parámetros productivos y reproductivos	8
4.2. Características físicas y ciclo de vida de la <i>R. microplus</i>	9

4.2.2.	Fase de encuentro	13
4.2.3.	Fase de vida parasitaria	15
4.3.	Resistencia a ixodicidas de la garrapata <i>R. microplus</i>	16
4.3.1.	Factores que favorecen el establecimiento de la resistencia	17
4.3.2.	Principales fallas en las que incurren los productores al usar ixodicidas.....	18
4.3.3.	Mecanismos genéticos involucrados en el establecimiento de la resistencia	21
4.3.4.	Métodos de diagnóstico de la resistencia.....	22
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	25
5.1.	Localización del área de estudio.....	25
5.2.	Unidades de producción	25
5.3.	Recolección e identificación de las garrapatas	26
5.4.	Determinación de la resistencia de las garrapatas <i>R. microplus</i> mediante la prueba del paquete larvario	27
5.5.	Análisis de datos.....	29
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
6.1.	Determinación de la resistencia de las garrapatas <i>Rhipicephalus microplus</i> mediante la prueba del paquete larvario	30
6.1.1.	Amitraz	30
6.1.2.	Cipermetrina.....	35

6.1.3. Ivermectina.....	40
6.2. Determinación de la CL ₅₀ , CL ₉₀ y CL ₉₉ para los principios activos incluidos en el estudio	47
6.2.1. Amitraz	47
6.2.2. Cipermetrina.....	49
6.2.3. Ivermectina.....	51
6.3. Identificación de las subpoblaciones de garrapata <i>R. microplus</i> que presentan resistencia múltiple a ixodicidas.....	54
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
7.1. Conclusiones	57
7.2. Recomendaciones	58
8. LITERATURA CITADA	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Localización geográfica y número de muestras de las unidades de producción pecuaria consideradas para realizar el muestreo de campo.	25
Cuadro 2. Concentraciones de amitraz, cipermetrina e ivermectina que se evaluaron en la prueba del paquete larvario en unidades de producción de Loma Bonita, Oaxaca.	28
Cuadro 3. Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de amitraz en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de Loma Bonita, Oaxaca.	31
Cuadro 4a. Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de Loma Bonita, Oaxaca.	36
Cuadro 4b (continuación). Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de Loma Bonita, Oaxaca.	37
Cuadro 4c (continuación). Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de Loma Bonita, Oaxaca.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 5a. Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de ivermectina en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de Loma Bonita, Oaxaca.	41

Cuadro 5b (continuación). Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de ivermectina en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de Loma Bonita, Oaxaca.	42
Cuadro 5c (continuación). Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de ivermectina en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de Loma Bonita, Oaxaca.	43
Cuadro 5d (continuación). Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de ivermectina en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de Loma Bonita, Oaxaca.	44
Cuadro 6. Concentraciones de amitraz calculadas mediante el análisis probit para lograr la Concentración Letal al 50 % (CL ₅₀), 90 % (CL ₉₀) y 99 % (CL ₉₉) en larvas de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.	48
Cuadro 7. Concentraciones de cipermetrina calculadas mediante el análisis probit para lograr la Concentración Letal al 50 % (CL ₅₀), 90 % (CL ₉₀) y 99 % (CL ₉₉) en larvas de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.	50
Cuadro 8. Concentraciones de ivermectina calculadas mediante el análisis probit para lograr la Concentración Letal al 50 % (CL ₅₀), 90 % (CL ₉₀) y 99 (CL ₉₉) en larvas de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo biológico de la garrapata <i>R. microplus</i>	10
Figura 2. Zonas de fijación de la garrapata <i>R. microplus</i> en el bovino.....	16
Figura 3. Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de amitraz en subpoblaciones de garrapata <i>R. microplus</i> de Loma Bonita, Oaxaca.	32
Figura 4. Porcentaje de subpoblaciones de garrapata <i>R. microplus</i> susceptibles/resistentes a la concentración de amitraz recomendada por los laboratorios en unidades de producción de Loma Bonita, Oaxaca.....	34
Figura 5. Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapata <i>R. microplus</i> de Loma Bonita, Oaxaca.	38
Figura 6. Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de ivermectina en subpoblaciones de garrapata <i>R. microplus</i> de Loma Bonita, Oaxaca.	45
Figura 7. Porcentaje de subpoblaciones de garrapata <i>R. microplus</i> susceptibles/resistentes a la concentración de ivermectina recomendada por los laboratorios en unidades de producción de Loma Bonita, Oaxaca.....	46

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar a través de la técnica del paquete larvario, la mortalidad inducida por el amitraz, cipermetrina e ivermectina en subpoblaciones de garrapata *Rhipicephalus microplus* (*R. microplus*) de Loma Bonita, Oaxaca. Para ello, se incluyeron 10 unidades de producción pecuaria de las que se tomaron muestras de garrapatas ingurgitadas. Mediante la técnica del paquete larvario, se establecieron diferentes ensayos de concentraciones múltiples para evaluar la eficacia del amitraz, cipermetrina e ivermectina. El amitraz, la cipermetrina y la ivermectina en las dosis recomendadas por los laboratorios causaron una mortalidad larvaria promedio de 83.6 %, 47 % y 99.7 %, respectivamente. En la dosis recomendada, el amitraz fue eficaz para controlar la garrapata en el 60 % de los ranchos estudiados, mientras que la cipermetrina no fue eficaz en ninguno y la ivermectina fue eficaz en el 90 % de ellos. El análisis de la concentración letal al 99 % (CL₉₉), mostró que la CL₉₉ calculada para amitraz, cipermetrina e ivermectina, fue menor a la concentración recomendada por los laboratorios comerciales en 10 %, 0 % y 80 % de los ranchos incluidos en el estudio, respectivamente. El 60 % de las subpoblaciones de garrapata analizadas mostró resistencia únicamente a cipermetrina, el 30 %, a amitraz y cipermetrina, de manera simultánea y el 10 %, resistencia múltiple a amitraz, cipermetrina e ivermectina. Se concluye que, las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* mostraron un nivel alto de resistencia a cipermetrina, un nivel intermedio de resistencia a amitraz y un nivel bajo de resistencia a ivermectina.

Palabras clave: *Rhipicephalus microplus*, amitraz, cipermetrina, ivermectina, resistencia, prueba del paquete larvario.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine, through the larval packet technique, the mortality induced by amitraz, cypermethrin, and ivermectin in subpopulations of *Rhipicephalus microplus* ticks from Loma Bonita, Oaxaca. Ten livestock production units were included from which engorged tick samples were taken. Different multiple concentration assays were established using the larval packet technique to evaluate the efficacy of amitraz, cypermethrin, and ivermectin. Amitraz, cypermethrin, and ivermectin at doses recommended by laboratories caused an average larval mortality of 83.6 %, 47 %, and 99.7 %, respectively. At the recommended dosage, amitraz was effective in controlling ticks on 60 % of the studied ranches, while cypermethrin was not effective in any, and ivermectin was effective in 90 % of them. The analysis of the lethal concentration at 99 % (CL₉₉) showed that the calculated CL₉₉ for amitraz, cypermethrin, and ivermectin was lower than the concentration recommended by commercial laboratories in 10 %, 0 %, and 80 % of the ranches included in the study, respectively. Sixty percent of the analyzed tick subpopulations showed resistance only to cypermethrin, 30 % to amitraz and cypermethrin simultaneously, and 10 % to multiple resistance to amitraz, cypermethrin, and ivermectin. It is concluded that *R. microplus* tick subpopulations showed a high level of resistance to cypermethrin, an intermediate level of resistance to amitraz, and a low level of resistance to ivermectin.

Key words: *Rhipicephalus microplus*, amitraz, cypermethrin, ivermectin, resistance, larval packed test.

1. INTRODUCCIÓN

La garrapata *Rhipicephalus microplus* (*R. microplus*) es el principal ectoparásito de los bovinos en las zonas tropicales y subtropicales de México (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2014). Es un arácnido que afecta el bienestar animal, disminuye los parámetros productivos y reproductivos, causa signos de enfermedad y participa como vector de otras patologías como la babesiosis y la anaplasmosis (Domínguez *et al.*, 2016). Como consecuencia, provoca grandes pérdidas económicas en la ganadería bovina (Alonso-Díaz y Fernández-Salas, 2022).

Durante las últimas décadas, el control de la garrapata *R. microplus* se ha basado en productos químicos que disminuyen su eficiencia reproductiva o causan su muerte. Existen distintos grupos químicos que han demostrado su eficacia en el control químico de la garrapata, entre los que destacan los organofosforados, las amidinas, los piretroides, las fenilpirazolonas, los endectocidas y los inhibidores de desarrollo (Carneiro, 2021). Sin embargo, el uso indiscriminado de los diferentes principios activos ha propiciado la aparición de resistencia de la garrapata a los mismos (Díaz, 2012).

Durante el desarrollo de la resistencia, las poblaciones que son expuestas a diferentes dosis de ixodicidas, eventualmente sufren mutaciones genéticas que les confieren la habilidad para resistir dosis que en condiciones normales serían tóxicas para las garrapatas (Quiroz *et al.*, 2011). Posteriormente, las mutaciones son heredadas a la progenie, ocasionando que el principio activo en cuestión deje de ser efectivo en el control químico de las garrapatas (Zúñiga, 2021). Se ha determinado que el establecimiento de la resistencia a ixodicidas depende de que

tan expuestas han estado las garrapatas a los principios activos (Soberanes *et al.*, 2002), ya que cuando estos se utilizan de manera constante, la resistencia tarda en establecerse entre dos y siete años (Rodríguez-Vivas, 2018).

La resistencia de la garrapata *R. microplus* a ixodicidas tradicionalmente se ha identificado mediante la realización de bioensayos, como la prueba de inmersión de garrapatas adultas o la prueba del paquete larvario (Weber, 2021). En los bioensayos mencionados, las garrapatas adultas repletas o las larvas se ponen en contacto con diferentes principios activos utilizados en su control, ya sea a la concentración recomendada por los laboratorios comerciales o en dosis múltiples (FAO, 2004). De esta manera, se puede medir el efecto de los fármacos sobre la capacidad reproductiva de las garrapatas o la mortalidad que causan en las larvas (Cen *et al.*, 2017).

El municipio de Loma Bonita se encuentra ubicado dentro de la Región Cuenca del Papaloapan, en Oaxaca. El clima que predomina en ese lugar es el clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (García, 2004), el cual es propicio para el desarrollo del ciclo de la garrapata *R. microplus*. Existe un consenso entre productores, veterinarios y técnicos agropecuarios en que diversas subpoblaciones de garrapatas muestran resistencia a diversos acaricidas empleados en su control. Sin embargo, no existen estudios que hayan comprobado lo anterior ni se tiene una idea clara sobre la magnitud del problema. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es determinar la mortalidad larvaria inducida por el amitraz, cipermetrina e ivermectina en subpoblaciones de garrapata *Rhipicephalus microplus* de Loma Bonita, Oaxaca.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar a través de la técnica del paquete larvario, la mortalidad inducida por el amitraz, cipermetrina e ivermectina en subpoblaciones de garrapata *Rhipicephalus microplus* de Loma Bonita, Oaxaca.

2.2. Objetivos específicos

Establecer la mortalidad larvaria que causan el amitraz, cipermetrina e ivermectina en subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de Loma Bonita, Oaxaca.

Determinar en cada una de las subpoblaciones la concentración letal al 50 %, (CL₅₀), 90 % (CL₉₀) y 99 % (CL₉₉) de los principios activos incluidos en el estudio.

Identificar las subpoblaciones de garrapatas que presentan resistencia múltiple a los principios activos incluidos en el estudio.

3. HIPÓTESIS

Las subpoblaciones de garrapata *Rhipicephalus microplus* de Loma Bonita, Oaxaca mostrarán alto grado de resistencia al amitraz, cipermetrina e ivermectina.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. La garrapata *R. microplus* y su impacto en la ganadería doble propósito

La garrapata *R. microplus* es un ectoparásito que se distribuye ampliamente en el territorio mexicano. Es importante en la ganadería bovina porque afecta el bienestar animal, disminuye la producción de carne y leche y afecta los parámetros reproductivos (Alonso-Díaz y Fernández-Salas, 2022).

En las zonas tropicales, las garrapatas afectan en mayor proporción a los animales, ya que las condiciones climáticas favorecen el desarrollo del ciclo de vida de la garrapata. Se sabe que, en promedio, un bovino puede perder anualmente hasta 280 g de peso por cada garrapata (Flores, 2015). Además de lo anteriormente mencionado, *R. microplus*, representa una amenaza para las exportaciones de ganado bovino producido en México (Flores, 2015).

En los últimos años, su control se ha obstaculizado por la aparición de resistencia a los compuestos utilizados en su control químico, lo que ha obligado a utilizar dosis mayores o acortar los intervalos de dosificación, incrementando los costos de producción (Castañeda *et al.*, 2021).

4.1.1. Daños directos. Los daños directos son aquellos ocasionados por la garrapata *R. microplus* consisten principalmente en lesiones en la piel, en la disminución de la producción de carne y leche y en alteraciones reproductivas (Reyes *et al.*, 2013; SENASICA, 2021). Además, las garrapatas adultas al consumir grandes cantidades de sangre pueden provocar anemia, fiebre alta y agrandamientos del bazo y el hígado, ocasionándoles al animal molestias físicas, e incluso si no es atendido la muerte.

La acción traumática de la garrapata también ocasiona estrés permanente a los animales portadores y un debilitamiento de las actividades del sistema, por lo que los animales afectados por garrapatas son más propensos adquirir múltiples enfermedades (Polanco y Ríos, 2016).

Una de las manifestaciones clínicas más representativas que causa la garrapata *R. microplus* es la anemia, ya que individuos de esta especie desarrollan todo su ciclo de vida en un solo hospedero. Así, una garrapata hembra adulta puede succionar hasta 3 mL de sangre al día. Si un bovino tiene una carga significativa de garrapatas alimentándose de él, se pudiera generar anemia e incluso la muerte del animal (Flores, 2015).

4.1.2. Daños indirectos. Son aquellos que causa la garrapata *R. microplus* y que se relacionan con su participación como vector en enfermedades de importancia en la ganadería bovina, ya que si el ganado está expuesto a estos ectoparásitos aumentan la posibilidad de que desarrollen otras enfermedades como son *Babesia bovis*, *Babesia bigemina* y *Anaplasma marginale*, estas enfermedades son de mucha importancia ya que afecta la salud del animal y tan bien repercute directamente en la economía, ya que existen grandes pérdidas en las unidades de producción (UP), si es que estas enfermedades no son tratadas en tiempo y forma (Reyes *et al.*, 2013; SENASICA, 2021).

4.1.3. Impacto en la ganadería bovina. La garrapata *R. microplus* ha generado grandes pérdidas económicas en la ganadería bovina mexicana (Flores, 2015). Lo anterior se debe a su amplia distribución en el territorio nacional, ya que es un problema que se propaga fácilmente debido a las

condiciones ambientales del país, y si a esto se le añaden que las prácticas de control para las garrapatas no son las adecuadas, estas aumentan su capacidad de proliferación.

Las pérdidas económicas se asocian a la disminución de los parámetros productivos y reproductivos. Además, se deben tener presentes los costos relacionados con los ixodicidas utilizados en el control químico de las garrapatas. Asimismo, muchos de los principios activos utilizados actualmente no son eficientes, generando la necesidad en el productor de incrementar las dosis o intentar con otros productos, muchas veces más caros (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2014).

Asimismo, la garrapata impacta de manera negativa la ganadería bovina por las pérdidas económicas que provoca y que están asociadas con el tratamiento o mortalidad de enfermedades transmitidas por la garrapata. La babesiosis y la anaplasmosis son patologías con altos porcentajes de morbilidad y mortalidad, las garrapatas son sus principales vectores de estas enfermedades, al existir problemas de garrapatas, aumenta la probabilidad de que el ganado bovino padezca alguna de las enfermedades mencionadas (Yáñez, 2013).

Por todo lo antes mencionado, es importante implementar programas de control y buen manejo contra las garrapatas en todos sus estadios, si se lleva un control adecuado sobre estos ectoparásitos los problemas de salud en el ganado disminuirán y también los productores no se verán expuestos a pérdidas económicas que comúnmente resultan un problema para ellos originados por la presencia de las garrapatas (Cortés *et al.*, 2010).

4.1.4. Daño a parámetros productivos y reproductivos. En México, el 80 % de la ganadería bovina de doble propósito se concentra principalmente en Veracruz, Chiapas y Tabasco, mientras que, el otro 20 % se concentra en los estados con clima subtropical. En ese territorio, se genera el 19.5 % de la leche y el 50 % de la carne producida en el país, respectivamente (Arce *et al.*, 2017). Los daños provocados por las garrapatas en los bovinos productores de carne dependen del nivel de infestación. Así, un nivel de infestación bajo (hasta 50 garrapatas) causan pérdidas de peso de aproximadamente de 13 kg al año, un nivel de infestación medio (50-100 garrapatas) resulta en pérdidas de hasta 26 kg al año y un nivel de infestación alto o severo (100-300 garrapatas) ocasiona pérdidas de hasta 78 kg al año por animal (SENASICA, 2021). En la producción de leche, las garrapatas pueden provocar una reducción de hasta 200 L anuales en un animal con infestación media, esto repercute directamente con grandes pérdidas económicas para los productores (SENASICA,2021).

La babesiosis y anaplasmosis se asocian a problemas reproductivos como abortos en la última etapa de gestación, anemia, e incluso la muerte del animal. Se ha demostrado una disminución en la producción de carne y leche dentro de los hatos donde existe presencia de garrapatas y las enfermedades que estas transmiten (Vargas-Cuy *et al.*, 2019).

Los métodos de control de la garrapata no siempre son eficientes si no se aplican con una base científica, por lo cual, siempre es recomendable que las actividades de control de la garrapata estén asesoradas por profesionales de la materia (Herrera, 2022).

4.2. Características físicas y ciclo de vida de la *R. microplus*

Las condiciones ambientales constituyen los factores de mayor importancia en la duración del ciclo biológico de la garrapata *R. microplus*, ya que esta garrapata depende de un solo huésped en todo su ciclo de vida afectando severamente al huésped. Sus principales hospedadores son los bovinos, sin embargo, puede parasitar a otras especies como los búfalos, perros, ovinos, caprinos e incluso, el humano, es por eso que en ciertos lugares resulta un problema de salud pública, ya que puede ocasionar múltiples enfermedades que afectan la salud no solo del animal, sino también del humano (Alonso-Díaz y Fernández-Salas, 2022).

Durante su vida pasa por cuatro estadios diferentes, que son huevo, larva, ninfa y adulto (Aguilar *et al.*, 2021). Asimismo, su ciclo de vida (Figura 1) consta de tres fases: fase de vida libre, fase de encuentro y fase de vida parasitaria.

Las garrapatas recién nacidas (larvas) se suelen encontrar adheridas a las zonas más finas de la epidermis tales como la cara interna de los muslos, los flancos y las patas traseras. También se las puede observar en el abdomen y el pecho. Después de alimentarse las larvas sufren dos mudas y se convierten en ninfas y posteriormente en garrapatas adultas. Cada estadio de desarrollo (larva, ninfa y adulta) se alimenta una sola vez, pero la alimentación dura varios días. Las garrapatas macho adultas maduran sexualmente después de la alimentación y se aparean con hembras que están alimentándose. Una garrapata hembra adulta que se ha alimentado y apareado se separa de su huésped y deposita una gran cantidad de huevos en el medio ambiente. Por lo general, colocan los huevos en la materia orgánica localizada en grietas o debajo de las piedras (CFSPH, 2007).

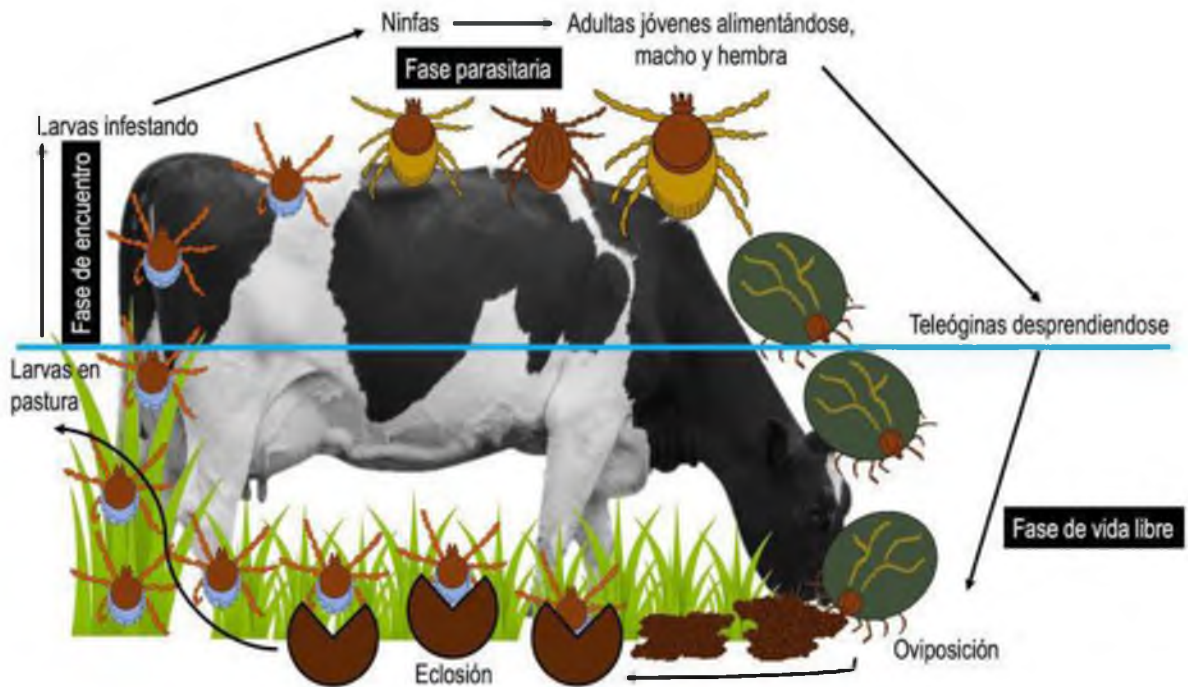


Figura 1. Ciclo biológico de la garrapata *R. microplus*. Fuente: (Alonso-Díaz y Fernández-Salas, 2022).

4.2.1. La Fase no parasitaria o fase de vida libre. Comienza cuando la garrapata hembra adulta repleta de sangre (teleogina) se desprende del bovino y se deposita en el pasto. Esto ocurre generalmente por la noche, después de tener una alimentación completa. Posteriormente, las garrapatas ingurgitadas buscan los sitios con las condiciones ambientales óptimas para poner sus huevos (Alonso-Díaz y Fernández-Salas, 2022).

Durante esta fase se presentan seis periodos diferentes en donde las garrapatas llevan a cabo distintos procesos para desarrollar su ciclo, entre los que se encuentran el periodo de preoviposición, oviposición, postpostura, incubación, eclosión y larva de vida libre (Cen-Aguilar *et al.*, 1998; Leal *et al.*, 2018).

La etapa de **preoviposición** consiste en que la garrapata repleta de sangre se desprende y cae al suelo. Posteriormente, se encarga de buscar un lugar protegido y oscuro para llevar a cabo la postura de sus huevos. Esta etapa dura aproximadamente de 2 a 4 días en verano y de 20 a 23 días en invierno (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2005).

Durante el periodo de **ovoposición**, las garrapatas hembras adultas se desprenden del hospedero y buscan materia orgánica donde pueden poner entre 2,000 y 3,000 huevos durante dos o tres semanas. La materia orgánica proporciona a los huevos condiciones adecuadas de temperatura y humedad, así como protección de los rayos del sol. Tanto la temperatura, la humedad y la protección solar son de suma importancia para que los huevos puedan eclosionar y continuar con el ciclo biológico de la garrapata. Si el ambiente no cuenta con las condiciones mencionadas, disminuyen las posibilidades de que los huevos eclosionen. Después de poner el último huevo, la garrapata hembra adulta muere, terminando así su ciclo de vida (Alonso-Díaz y Fernández-Salas, 2022).

El período de **postpostura** es el tiempo que transcurre entre la puesta del último huevo hasta la muerte de la garrapata. Este periodo dura entre 5 y 15 días aproximadamente (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2011).

El período de **incubación** abarca desde que la masa de los huevos ha sido depositada en el ambiente hasta la eclosión. El desarrollo embrionario está influenciado por factores ambientales entre los que destacan la temperatura y la humedad. Si la temperatura no es adecuada, puede afectar el periodo de incubación.

Las condiciones óptimas de incubación en las que se tienen los más altos porcentajes de eclosión, se encuentran entre los rangos de temperatura de 24.9 a 35 °C y humedad relativa de 80-90 % (Hitchcock, 1955; Vecino *et al.*, 2010). Este periodo puede tener una duración de 31 a 33 días, dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad que las podría prolongar (Muñoz, 2022).

El porcentaje de **eclosión** en un ambiente controlado, puede ser mayor del 80 %, mientras que en el campo aumenta la mortalidad, reduciendo el número de larvas. Este periodo en campo puede tener una variación en el tiempo en la que emergen las larvas, ya que va relacionado con las condiciones ambientales. Se ha determinado que la temperatura del suelo por debajo de los 16 °C puede inhibir la eclosión de los huevos (Jonsson, 1997; Rodríguez-Vivas *et al.*, 2005).

La temperatura para un desarrollo favorable y adecuado de las larvas al momento de eclosión en condiciones controladas debe de estar dentro del rango de 19 °C a 32 °C (Castillo y Abdelyabar, 2013), mientras que la humedad adecuada debe ubicarse en un rango entre 85 y 86 % (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006).

Inmediatamente después de la eclosión, las larvas recién nacidas no cuentan con habilidad para hacer daño ya que su cutícula no es lo suficiente fuerte. Después de cuatro a seis días, las larvas buscan la parte aérea de los pastos para subirse a un hospedador. Esta actividad es más notoria durante las mañanas (Ferretto, 2013).

En el periodo de **larva de vida libre**, la larva mide aproximadamente 0.50 mm de largo y 0.40 mm de ancho, su forma es ligeramente oval y cuenta con tres pares

de patas. Tras el ascenso de la temperatura, con el aumento del fotoperiodo y una adecuada humedad relativa, las larvas suben hasta las porciones más altas de los pastos, esperando un hospedador (Estrada-Peña, 2015).

El tiempo de la viabilidad de la larva es de suma importancia cuando se requiere una estrategia para el control de la garrapata, pudiendo tener un aproximado de 10 a 70 días en verano y alcanzar 250 días en el resto del año. Bajo condiciones controladas de laboratorio, una larva puede sobrevivir de 180-300 días (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2005).

4.2.2. Fase de encuentro. Se le denomina así porque en ella, la larva tiene contacto por primera vez con su hospedador y puede tener una duración de 21 días. La fase de encuentro se subdivide en un periodo pasivo y un periodo de búsqueda. El periodo pasivo dura entre 4 a 6 días y corresponde al primer estímulo posterior a la eclosión de las larvas. En este período, las larvas utilizan su capacidad de adaptación para resistir los efectos del entorno (Pardo y Buitrago, 2005).

El periodo de búsqueda es el tiempo que transcurre entre el período pasivo y el encuentro del hospedero. Este evento está influenciado por diversos factores, considerándose de mayor importancia las condiciones ambientales, y sus reservas nutritivas. Este periodo es uno de los más críticos en la vida de las garrapatas ya que necesitan encontrar un hospedero adecuado, nutrirse y completar su ciclo, además cuentan únicamente con sus reservas para resistir períodos prolongados de inanición, si las garrapatas no encuentran un hospedero no podrán continuar con su ciclo de vida. Otro aspecto que influye es la densidad

de hospederos, ya que es lógico que cuanto mayor sea el número de animales por unidad de superficie, más fácil resulta que la larva encuentre alguno (Rodríguez- Vivas *et al.*, 2006).

Esta fase está influenciada por distintas variables como la distribución, longevidad, ritmos de actividad de las larvas, la estructura y tipo de vegetación en las unidades de producción, así como la densidad de huéspedes y múltiples aspectos relacionados con su comportamiento en el pastizal (Grajales, 2019).

Una vez que los huevos eclosionaron, el tamaño de las larvas resultantes es de aproximadamente 0.50 mm de largo y 0.40 mm de ancho, tienen una forma oval, cuentan con tres pares de patas; cuando emergen del huevo su color es ámbar y con el paso de los días cambia a rojo oscuro (INIFAP, 2007). Las larvas eclosionan con la viabilidad necesaria para resistir los efectos del ambiente, a esta etapa.

Las larvas buscan las partes sombreadas de los pastos o de las hojas en espera de la llegada de los bovinos, percibiéndolas por medio de quimiorreceptores a dióxido de carbono que emiten los animales. Estos quimiorreceptores se localizan entre las patas anteriores de la larva y se conocen como órgano de Haller. Mediante el órgano de Haller, las garrapatas pueden detectar variaciones del 0.1 % en concentración de dióxido de carbono que se emite durante la respiración.

Al percibir la presencia de un huésped, las larvas aumentan su actividad y adoptan una posición particular al sostenerse en sus dos patas posteriores y

extender el par anterior para adherirse, formando de esta manera un agarre entre la garrapata y el ganado (Alonso-Díaz y Fernández-Salas, 2022).

4.2.3. Fase de vida parasitaria. Empieza cuando las larvas logran subirse y se fijan en la piel de los bovinos, y termina cuando las garrapatas hembras adultas se desprenden para poner sus huevos. Bajo condiciones ambientales óptimas, esta fase tiene una duración aproximada de 21 a 25 días. Una vez que las larvas encuentran un hospedador, se alimentan durante todo el día de líquidos tisulares hasta llenarse por completo. Posteriormente, tendrán una primera muda que las transformará en ninfas. Las ninfas también se alimentarán de sangre hasta saciarse para realizar una segunda muda, a partir de la cual se originarán las hembras y machos adultos. En el estado de adultos, la garrapata hembra adulta cópula con el macho y se alimenta por última vez antes de descender de su hospedador. En el caso de los machos, también se alimentan de sangre hasta quedar repletos y finalmente se reproducen hasta que les es posible y luego mueren (Alonso-Díaz y Fernández-Salas, 2022).

La garrapata *R. microplus* tiene zonas preferidas en el cuerpo del bovino para fijarse a la piel y alimentarse (Figura 2). Estas zonas son las más frescas, con piel más delgada y donde llegan menos los rayos solares. Las zonas de fijación más frecuentes son la región entre la ubre, el ano, testículos, área interna de las piernas, brazuelos, vientre, base de la cola, cuello y en la base o dentro de las orejas.

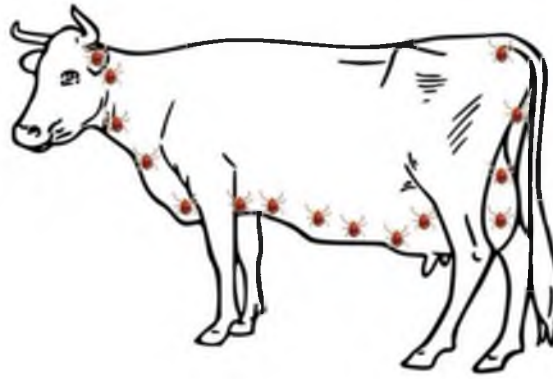


Figura 2. Zonas de fijación de la garrapata *R. microplus* en el bovino. Fuente: (Alonso-Díaz y Fernández-Salas, 2022).

4.3. Resistencia a ixodicidas de la garrapata *R. microplus*

Las infestaciones de la garrapata *R. microplus*, producen el mayor problema global de ectoparásitos en ganado de regiones tropicales y subtropicales, provocando grandes pérdidas económicas en la producción bovina. El control de *R. microplus* se basa principalmente en el uso de ixodicidas. Sin embargo, su uso irracional ha propiciado la aparición de garrapatas resistentes a las principales familias de ixodicidas (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2014).

La resistencia de la garrapata *R. microplus* a ixodicidas se puede definir como la capacidad que tiene una determinada subpoblación que ha sido sometida en repetidas ocasiones a un agente químico, de resistir las concentraciones que bajo condiciones normales causa la muerte de individuos que no han sido expuestos al mismo (Alonso-Díaz *et al.*, 2006).

Desde hace más de 50 años, en México se comenzaron a registrar los primeros casos de resistencia de *R. microplus* a ixodicidas, debido a malas estrategias en el uso de los productos comerciales que han estado al alcance de los

productores. Actualmente, en diferentes regiones del país se han registrado casos de resistencia a ixodicidas como organofosforados, amidinas y piretroides, debido a que son los de mayor uso. Lo anterior ha provocado en los productores grandes pérdidas económicas ya que, al no controlar el ciclo de las garrapatas, el ganado bovino se ve afectado en su desarrollo, provocando una limitante en la ganancia de peso y producción de leche, además de múltiples enfermedades a las que el ganado queda expuesto (Domínguez *et al.*, 2010). Asimismo, en esa situación, el productor tiene la necesidad de utilizar otros principios activos, generando más gastos.

4.3.1. Factores que favorecen el establecimiento de la resistencia. El problema de la resistencia a ixodicidas se ha manifestado a nivel de campo en las últimas décadas. El uso indiscriminado de los ixodicidas en el control de las garrapatas, pueden generar que estos parásitos adquieran una resistencia que se relaciona ampliamente con alteraciones moleculares (Díaz, 2012). Lo anterior se debe a un principio de selección genética, en la que los individuos resistentes sobreviven a los tratamientos químicos y transmiten los genes de resistencia a su progenie (Schleske, 2011).

Por otro lado, el manejo inadecuado de los principios activos utilizados en el control químico de la garrapata ha acelerado este fenómeno, ya que en muchas ocasiones la resistencia de las garrapatas a estos productos se debe a manejo inadecuado de estos. Así, se han identificado manejos como la sobredosificación durante los baños de aspersion, en los que se utilizan dosis altas en periodos cortos, el acortamiento de los periodos de aplicación, con mayor frecuencia de

aplicación a lo largo del año. Ambas situaciones, se han asociado con la presencia de resistencia. Al respecto, en algunos estudios se recomienda utilizar de 4-5 litros por animal adulto, aunque en la práctica se utilizan de 2-3 litros (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006). Lo anterior provoca que las garrapatas no sean expuestas a las dosis efectivas provocando que estas sigan afectando a los animales, ya que al no ser eliminadas continúan con su ciclo biológico (INIFAP, 2013).

4.3.2. Principales fallas en las que incurren los productores al usar ixodicidas. Existen diferentes prácticas de manejo que han contribuido al desarrollo de la resistencia de la garrapata a ixodicidas, entre las que destacan la sobredosificación, la subdosificación, las mezclas arbitrarias entre diferentes productos comerciales, las mezclas de productos comerciales con productos de uso doméstico, el uso prolongado de principios activos y el baño de un excesivo número de animales por bomba. Todas estas prácticas contribuyen al establecimiento de la resistencia a los ixodicidas en las garrapatas (Alonso-Díaz *et al.*, 2006).

4.3.2.1. Sobredosificación. Se deriva de las altas concentraciones de ixodicidas que los productores proporcionan en los baños de aspersion. En general, existen recomendaciones para bañar cierta cantidad de animales por bomba de aspersion. Sin embargo, algunos productores al notar que el producto comercial ya no es efectivo, incrementan de manera arbitraria la dosis (Echeverry *et al.*, 2016). La sobredosificación puede generar resistencia en las garrapatas y el acortamiento de la vida útil de los productos utilizados. Por ello, los productos

utilizados deben dosificarse de manera correcta de manera exacta, siguiendo las indicaciones de los fabricantes. Además, el personal encargado de realizar los baños garrapaticidas, debe contar con conocimientos sobre el tema y estar capacitado para cualquier toma de decisiones (Cuore, 2006).

4.3.2.2. Subdosificación. Ocurre cuando los productores no llevan a cabo un cálculo correcto de la dosis, propiciando que las mezclas tengan una concentración menor a lo recomendado por los laboratorios comerciales y no sean eficaces. Con lo anterior, las garrapatas son expuestas a concentraciones menores que no son suficientes para matarlas, pero si para inducir cambios en su genotipo (FAO, 2003).

Las mutaciones genéticas soportan la resistencia a ixodicidas, por lo tanto, es importante que los productores conozcan cómo se debe diseñar un programa de control químico de la garrapata, para evitar esta situación (González *et al.*, 2011). Este problema muchas veces se da por falta de conocimiento sobre las cantidades exactas que se deben tener en la aplicación de los productos. Otras veces, se da porque algunos productores quieren reducir costos bañando más animales por bomba, es decir quieren bajar la dosis de producto para cubrir más cantidades de animales lo que repercute en que las garrapatas sean expuestas a menores concentraciones de ixodicidas y que desarrollen cierta resistencia a estos (FAO, 2010).

4.3.2.3. Mezclas de productos comerciales. En los últimos años, los productores tienen la tendencia de mezclar varios principios activos utilizados en el control químico de la garrapata, buscando con ello una mayor eficacia en

los baños garrapaticidas. Sin embargo, en pocas ocasiones reciben asesoría técnica, por lo que las combinaciones que realizan se hacen de manera empírica, sin tener una evidencia científica de que van a funcionar. Si no se realizan las combinaciones correctas, en lugar de favorecer a controlar la garrapata, puede contribuir a la aparición de la resistencia a ixodicidas (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2014). Por lo tanto, en los baños garrapaticidas se deben respetar las dosis y evitar las mezclas no indicadas de productos, ya que, si no se siguen las indicaciones, se puede contribuir a la pérdida de eficacia de los ixodicidas en el control químico de la garrapata (Álvarez, 2016).

4.3.2.4. Mezclas de garrapaticidas comerciales con productos de uso doméstico. Esta práctica es muy común en los pequeños productores de bovinos. Actualmente, los ganaderos mezclan los productos comerciales con bicarbonato, extractos de plantas, sal, vinagre de manzana, productos de limpieza, petróleo, cal, entre otros. Lo más recomendable es utilizar los productos comerciales ya disponibles en el mercado de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, con ello, se retrasará el establecimiento de la resistencia (Saueressig, 2007).

4.3.2.5. Uso prolongado de ixodicidas. El uso prolongado de un solo grupo de ixodicidas provoca la reducción de la eficacia de los tratamientos en las subpoblaciones de garrapatas, obligando con ello al desarrollo de nuevas fórmulas comerciales (Flores, 2015). Para evitar esto, se recomienda realizar la rotación de grupos de principios activos que utilicen diferente mecanismo de acción, de esta forma se disminuirán los riesgos.

4.3.2.6. Baño de excesivo número de animales por bomba. La mayor causa de la ineficacia de los ixodicidas es por un mal manejo de su dosificación. Para alcanzar la concentración adecuada de los ixodicidas, es importante que los productores sigan al pie de la letra las indicaciones presentes en las etiquetas de los productos comerciales. Cuando los ixodicidas se aplican de acuerdo a las especificaciones emitidas por el laboratorio, es posible medir su eficacia aplicando los lineamientos establecidos en la NOM-006-ZOO-1993. Lo ideal es que con una bomba se bañen cuatro animales adultos o seis animales jóvenes (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006). Sin embargo, los productores llegan a bañar hasta 10 a 16 vacas adultas por bomba de 20 L de capacidad. Lo anterior, propicia que las vacas no se bañen de manera adecuada, provocando que, en ciertas zonas de la superficie del animal, no llegue el ixodicida en concentraciones adecuadas. Esta es una de las practicas más comunes en el ganado bovino, que desafortunadamente resulta en que las garrapatas no sean eliminadas y que adquieran resistencia (Schleske, 2011).

4.3.3. Mecanismos genéticos involucrados en el establecimiento de la resistencia. La mayoría de los casos de resistencia de garrapata a los ixodicidas se genera de manera natural debido a que las garrapatas fueron expuestas a cantidades tóxicas de ixodicidas y lograron sobrevivir debido al desarrollo de mutaciones genéticas que soportan su nueva habilidad. A partir de ese momento, esas garrapatas se reproducirán transmitiendo la resistencia a su progenie. De esta manera, cambia la proporción de genes entre la primera generación y la segunda (Flores, 2015).

Se han detectado distintos polimorfismos dentro de las garrapatas *Rhipicephalus microplus* como el gen Est9 el cual presenta alelos de resistencia a piretroides que les confiere a las garrapatas la capacidad de producir inhibidores que interfieren con la eficacia de estos (Díaz y Vallejo, 2013).

4.3.4. Métodos de diagnóstico de la resistencia. Consisten en distintas pruebas basadas en técnicas moleculares, pruebas bioquímicas y bioensayos. Los métodos de diagnóstico de la resistencia tienen características particulares y un fin común (Alonso-Díaz *et al.*, 2006).

4.3.4.1. Pruebas bioquímicas. Estas pruebas sirven para la determinación de resistencia que un grupo de garrapatas pueda presentar mediante el uso de sinergistas que inhiben las enzimas que desintoxican el metabolismo de la garrapata (Alonso-Díaz *et al.*, 2006).

4.3.4.2. Técnicas moleculares. Estas técnicas son utilizadas para determinar la resistencia de garrapatas *Rhipicephalus microplus* por medio de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), para identificar aquellos genes que soportan la resistencia a los ixodicidas. Estas técnicas actualmente son comunes y rápidas, por lo que resultan de gran ayuda para determinar la resistencia en garrapatas (Alonso- Díaz *et al.*, 2006).

4.3.4.3. Bioensayos. Consisten en contener a un grupo de garrapatas en un ambiente que presente productos químicos que afecten su supervivencia o su desempeño reproductivo. Después de un periodo, se determina la proporción de garrapatas que sobrevivieron al químico o se cuantifica su efecto en la ovoposición y eclosión. Los bioensayos más conocidos

son la prueba de inmersión de garrapatas adultas, la prueba de inmersión de larvas y la prueba de paquete de larvas. Todas son herramientas eficaces para detectar la resistencia a ixodicidas (Domínguez *et al.*, 2010).

4.3.4.3.1. Prueba de inmersión de garrapatas adultas. Fue desarrollada en 1967 y diseñada para medir el efecto de distintos ixodicidas sobre la ovoposición de las garrapatas y eclosión de las larvas (Alonso-Díaz *et al.*, 2006). Los bioensayos requieren de una gran cantidad de garrapatas adultas ingurgitadas y un tiempo prolongado que permita que se lleve a cabo la ovoposición y la eclosión de las larvas (Schleske, 2011).

4.3.4.3.2. Prueba de inmersión de larvas. La técnica es empleada para medir la resistencia de las larvas de garrapatas *R. microplus* a ixodicidas que normalmente son utilizados en el control químico de estos ectoparásitos (Weber, 2021). Esta prueba determinará el porcentaje de larvas vivas y muertas en distintas concentraciones de los acaricidas. Su ventaja radica en que dura unas cuantas semanas y se puede realizar *in vitro*, ambientando el bioensayo lo más parecido posible a las condiciones de campo (Bravo *et al.*, 2008).

4.3.4.3.3. Prueba del paquete larvario. Consiste en cuantificar la mortalidad de las larvas que fueron expuestas a ixodicidas a distintas concentraciones. Aunque la técnica es muy parecida a la prueba de inmersión de larvas, se diferencia en que los químicos se impregnan en un papel para exponer a las larvas durante 24 horas (Alonso- Díaz *et al.*, 2006). Para esta prueba, se recomienda utilizar papel filtro. El conteo de la muerte larvaria se hace

a las 24 o 72 horas, sustentado por las recomendaciones de Stone y Haydock y la estandarización de la FAO (Schleske, 2011).

Una parte importante de los bioensayos consiste en determinar la eficacia de los ixodicidas a la concentración recomendada por los laboratorios en el control químico de la garrapata. Cuando esa dosis es incapaz de generar al menos el 98 % de mortalidad en las larvas estudiadas, se considera que existe resistencia, de acuerdo con los lineamientos de la NOM-006-ZOO-1993.

Una vez que se ha determinado la resistencia, existe la necesidad de conocer la concentración que se requiere para provocar la muerte de la totalidad de las larvas. Para ello, se deben probar varias dosis basadas en investigaciones previas o en la experiencia propia. Con los resultados en mano, es posible llevar a cabo una regresión en la que se calculan las concentraciones necesarias para lograr la mortalidad larvaria en niveles específicos. Los estudios que miden la eficacia in vitro de los ixodicidas, siempre contemplan el cálculo de la CL_{50} , CL_{90} y CL_{99} . Una CL_{99} menor que la dosis recomendada indica que el producto comercial aún es efectivo para controlar las garrapatas.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización del área de estudio

El estudio incluirá unidades de producción bovina ubicadas en diferentes localidades de Loma Bonita, Oaxaca. El municipio de Loma Bonita se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas 18°00' latitud Norte y 95° 56' longitud Oeste. El clima que predomina es el cálido húmedo con abundantes lluvias en verano. Los promedios anuales de la temperatura y precipitación pluvial son de 24.7 °C y 1,845 mm, respectivamente (García, 2004).

5.2. Unidades de producción

Las unidades de producción bovina que se incluyeron en el estudio se pueden observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Localización geográfica y número de muestras de las unidades de producción pecuaria consideradas para realizar el muestreo de campo.

Rancho	Localidad	Localización
El Chaparro	Arroyo Metate	18°00'20" N; 95°55'48" W
Tres Arroyos	Arroyo Metate	18°00'20" N; 95°55'48" W
Rancho HH	Paraíso Zacatal	17°67'07" N; 96°32'21" W
La Esperanza	Paraíso Zacatal	17°67'07" N; 96°32'21" W
EL Arenal	Loma Bonita	18°10'74" N; 95°87'98" W
Los Encinos	Loma Bonita	18°10'74" N; 95°87'98" W
Tres Hermanos	Loma Bonita	18°10'74" N; 95°87'98" W
El Esfuerzo	Desparramadero	18°01'97" N; 95°97'63" W
Tres Mujeres	San Benito el Encinal	17°98'72" N; 95°91'05" W
El Nacaste	San Benito el Encinal	17°98'72" N; 95°91'05" W

Los ranchos o unidades de producción que se tomaron en cuenta en el muestreo pertenecen en su mayoría al sistema de doble propósito, donde los becerros permanecen con sus madres en promedio hasta los siete meses de edad. El

ganado basa su alimentación en el pastoreo de praderas naturales o introducidas que muestran estacionalidad dependiente de la temporada de lluvias.

Únicamente se muestrearon aquellas unidades de producción en las cuales el último baño garrapaticida fue como mínimo 20 días antes del muestreo, para evitar el efecto residual de los productos utilizados, de acuerdo con los lineamientos de la FAO (2004).

5.3. Recolección e identificación de las garrapatas

Para la recolección de muestras se manipuló a los animales de cada Unidad de Producción Pecuaria (UPP) con mayor infestación y se desprendieron las garrapatas hembras, adultas e ingurgitadas, con un tamaño mayor a 8 mm. La selección de las unidades de producción a muestrear se llevó a cabo por conveniencia y dependió de la presencia de una cantidad suficiente de garrapatas adultas. Por cada rancho, se recolectó un total de 10 garrapatas hembras repletas, las cuales se introdujeron en recipientes de plástico limpios, que contaban con perforaciones en la tapa para permitir la entrada de oxígeno y la presencia de una gasa humedecida. El recipiente se identificó con el nombre de la UPP, lugar y fecha.

Las muestras fueron almacenadas en hieleras y se transportaron al Laboratorio de Sanidad Animal y Microbiología de la Universidad del Papaloapan, *campus* Loma Bonita, donde se llevó a cabo la identificación de las garrapatas utilizando un microscopio estereoscópico. Todas las hembras se lavaron con agua destilada para eliminar residuos orgánicos. Los bioensayos se realizaron dentro

de los primeros dos días posteriores a la recolección de las garrapatas, de acuerdo con las recomendaciones de la FAO (2004).

5.4. Determinación de la resistencia de las garrapatas *R. microplus* mediante la prueba del paquete larvario

Se realizó de acuerdo con las especificaciones de la FAO (2004). Las diez hembras adultas ingurgitadas se colocaron en posición decúbito dorsal y se sujetaron con una cinta masking tape de doble cara en el fondo de una caja de Petri de plástico de 9 cm de diámetro que fue identificada con la fecha y el nombre del rancho. Las garrapatas fueron incubadas por 14 días a 28 °C y 90% de humedad para permitir su ovoposición. En el día 14 de incubación, los huevos se traspasaron a tubos de ensaye de 150 mm de diámetro que fueron tapados con un tapón elaborado con algodón y gasa. La incubación se llevó a cabo con las mismas condiciones de temperatura y humedad durante 25 días hasta que ocurrió la eclosión larvaria. Los bioensayos se realizaron cuando las larvas tuvieron en promedio 18 días de edad.

Se evaluó la resistencia de las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* incluidas en el estudio a amitraz, cipermetrina e ivermectina mediante la prueba del paquete larvario, de acuerdo con las especificaciones de la FAO (2004). Para cada principio activo se incluyó un grupo testigo y se probaron diferentes concentraciones, las cuales en el caso del amitraz y la cipermetrina son propuestas por la FAO (2004), mientras que las dosis de ivermectina fueron propuestas por Castro *et al.* (2012) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentraciones de amitraz, cipermetrina e ivermectina que se evaluaron en la prueba del paquete larvario en unidades de producción de Loma Bonita, Oaxaca.

Grupo	Concentración a probar (%)
Testigo	0
Amitraz	0.015, 0.05, 0.2
Cipermetrina	0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2
Ivermectina	0.025, 0.05, 0.08, 0.1, 0.12, 0.15, 0.18, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4

Para realizar los paquetes larvarios se utilizaron como diluyente una mezcla de tricloroetileno y aceite de oliva en una proporción 2:1. Una vez obtenida la concentración deseada, se tomó 0.67 mL de la solución y se aplicó a hojas de papel filtro Whatman No. 1 de 7.5 X 8.5 cm (FAO, 2004). Las hojas de papel filtro impregnadas con el ixodicida fueron utilizadas para realizar los paquetes larvarios. Con ayuda de un pincel se colocaron aproximadamente 100 larvas de 18 días de edad en medio de las hojas dobladas por la mitad de papel filtro impregnado con las diferentes concentraciones de ixodicidas. Los paquetes se sellaron con pinzas bulldog y fueron colocados en charolas de aluminio, donde se incubaron durante 24 horas a 28 °C y 80 % de humedad. Pasado el tiempo de la incubación, los paquetes se abrieron y las larvas fueron contadas en un microscopio estereoscópico. El criterio para considerar que las larvas estarán vivas fue su capacidad para caminar o mover las patas.

Para realizar los bioensayos con amitraz, se modificó el procedimiento antes descrito debido a que en el análisis probit, las cepas de garrapatas no muestran una relación lineal entre la mortalidad y la concentración logarítmica del ixodicida, por lo que la FAO (2004) recomienda que se prueben tres concentraciones

distintas (0.0125 %, 0.05 % y 0.2 %). A diferencia del procedimiento llevado a cabo con la Cipermetrina e Ivermectina, los paquetes larvarios se introdujeron en cajas de Petri plásticas, con cada concentración en una caja por separado y la exposición de las larvas al acaricida se amplió de 24 a 48 h.

5.5. Análisis de datos

La mortalidad larvaria se determinó aplicando la fórmula de Abbot (FAO, 2004):

$$PMC = 1 + \frac{\% \text{ de mortalidad de prueba} - \% \text{ de mortalidad control}}{\% \text{ de mortalidad control}} \times 100$$

Donde:

PMC = porcentaje de mortalidad corregida

El promedio de los resultados para cada concentración (control y concentración probada) de cada acaricida fueron capturados en el programa Polo-Plus para realizar un análisis probit y determinar la concentración letal al 50 %, 90 % y 99 % (CL₅₀, CL₉₀, CL₉₉). El análisis probit consistió en utilizar los resultados obtenidos en cada concentración para determinar mediante regresión los puntos específicos (CL) de una recta, con lo que se pudo inferir los parámetros CL₅₀, CL₉₀, CL₉₉.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Determinación de la resistencia de las garrapatas *Rhipicephalus microplus* mediante la prueba del paquete larvario

Los bioensayos se han constituido como el principal método para determinar la resistencia de la garrapata *R. microplus* a ixodicidas. La prueba del paquete larvario es la más utilizada para tales fines.

6.1.1. Amitraz. Después de la aparición de resistencia a los organofosforados y piretroides, el amitraz se constituyó como el principal principio activo utilizado en el control químico de la garrapata. Para evaluar la eficacia de este y los otros principios activos utilizados en el presente trabajo, se utilizó como variable de respuesta la mortalidad larvaria corregida, debido a que en algunos ensayos la mortalidad se situó en el rango de entre el 5 % y el 10 %. De acuerdo con la FAO (2004), cuando la mortalidad larvaria en el grupo testigo es mayor que el 10 %, el bioensayo se debe eliminar. En cambio, si la mortalidad es menor que el 5 %, se debe calcular la mortalidad corregida para evitar una sobreestimación de ese parámetro.

El Cuadro 3 muestra la mortalidad causada por diferentes concentraciones de este producto en larvas de la garrapata *R. microplus* en diferentes unidades pecuarias pertenecientes al municipio de Loma Bonita, Oaxaca.

Cuadro 3. Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de amitraz en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de Loma Bonita, Oaxaca.

Rancho	Concentraciones (%)	Mortalidad corregida (%)
	0	0
El Chaparro	0.015	0
	0.05	0
	0.2	51
	0	0
Tres Arroyos	0.015	90
	0.05	100
	0.2	100
	0	0
Rancho HH	0.015	84
	0.05	98
	0.2	100
	0	0
La Esperanza	0.015	98
	0.05	100
	0.2	100
	0	0
Tres Hermanos	0.015	95
	0.05	99
	0.2	100
	0	0
El Arenal	0.015	55
	0.05	100
	0.2	100
	0	0
El Esfuerzo	0.015	87
	0.05	98
	0.2	100
	0	0
Tres Mujeres	0.015	60
	0.05	75
	0.2	93
	0	0
El Nacaste	0.015	62
	0.05	73
	0.2	83
	0	0
Los Encinos	0.015	77
	0.05	93
	0.2	96

La mortalidad larvaria promedio alcanzada independientemente de las concentraciones y del origen de las subpoblaciones fue de 82.23 %, con un rango de 0 % a 100 %. Estos valores dependen de las actividades de control que lleva a cabo cada productor en su unidad de producción. Asimismo, el valor global de mortalidad larvaria es alto, pero no lo suficiente para considerar a este compuesto altamente eficaz, de acuerdo con la NOM-006-ZOO-1993.

Los promedios de mortalidad larvaria provocada por cada una de las concentraciones se pueden observar en la Figura 3.

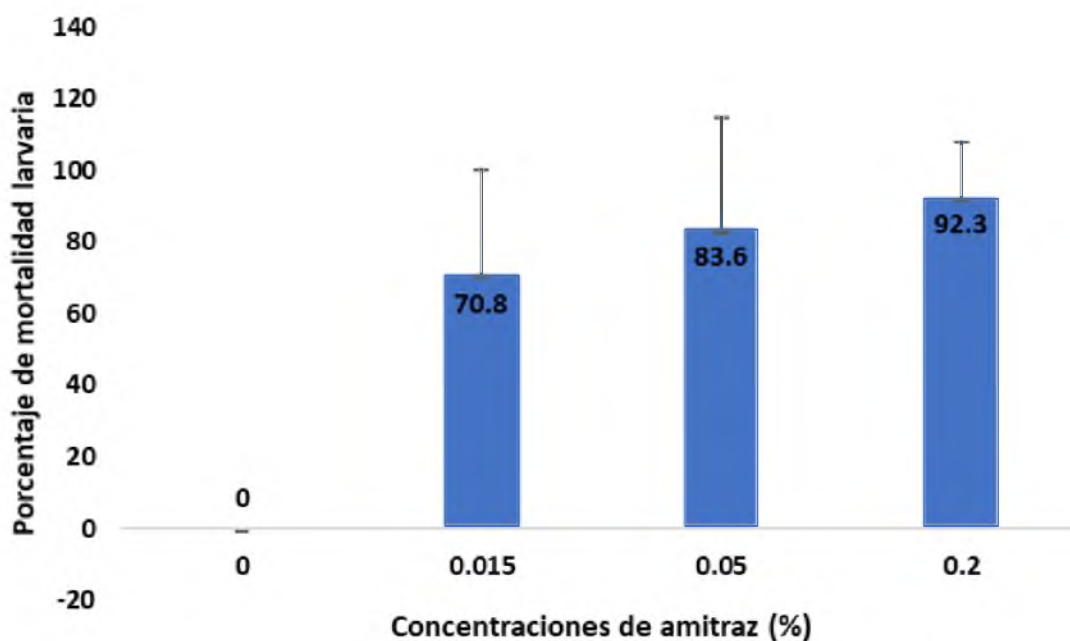


Figura 3. Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de amitraz en subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de Loma Bonita, Oaxaca.

Las concentraciones de amitraz evaluadas en este trabajo se establecieron siguiendo las recomendaciones de la FAO (2004), debido a que en el análisis

probit, las cepas de garrapatas no muestran una relación lineal entre la mortalidad y la concentración logarítmica del ixodicida. En los estudios para medir la resistencia de la garrapata a amitraz, se recomienda una concentración de 0.2 % (Torres *et al.*, 2015). Con esta concentración, la mortalidad larvaria obtenida en este trabajo fue de 92.3 %. Este resultado fue menor a lo registrado por Alota *et al.* (2021), quienes realizaron un estudio en 12 provincias de Luzon, Filipinas, y observaron que el amitraz a una concentración de 0.025 % provocó una mortalidad de 99.33 %. La diferencia con este estudio se puede atribuir a la diferencia entre las concentraciones evaluadas. Sin embargo, el porcentaje superior al 90 % indica que este principio activo es eficaz en la mayor parte de las unidades de producción que se incluyeron.

La concentración de amitraz recomendada por los laboratorios comerciales para llevar a cabo el control químico de la garrapata es de 250 partes por millón (ppm), lo que equivalente a 0.025 %. En el presente trabajo, no se probó esa concentración debido a que la FAO (2004) menciona que la respuesta a este principio activo no sigue la relación con la concentración empleada. Por ello, la FAO (2004) recomienda utilizar tres concentraciones que no coinciden con las recomendaciones de los laboratorios comerciales: 0.015 %, 0.05 % y 0.2 %. En el presente estudio, las recomendaciones más cercanas a la recomendada por los laboratorios 0.015 % y 0.05 %, las cuales provocaron una mortalidad larvaria promedio de 70.8 % y 83.6 %, respectivamente. En contraparte, en un estudio realizado en Hidalgo, México, se observó que cuando se utilizó amitraz a una concentración de 0.025 %, se registró una mortalidad larvaria del 99.7 %. De lo

anterior, se puede concluir que, en las subpoblaciones de garrapata analizadas, el amitraz no es eficaz debido a que con una dosis más alta (0.05 %) no se logró alcanzar una mortalidad larvaria superior al 98 %, para considerarlo como eficaz, de acuerdo con las especificaciones de la NOM-006-ZOO-1993.

Para analizar la eficacia del amitraz en cada una de las unidades de producción incluidas en el estudio, se consideró la concentración superior más próxima a la recomendada por los laboratorios. En la Figura 4, se muestran los porcentajes de unidades de producción que mostraron resistencia/susceptibilidad a una concentración de amitraz cercana a lo que recomiendan los laboratorios.

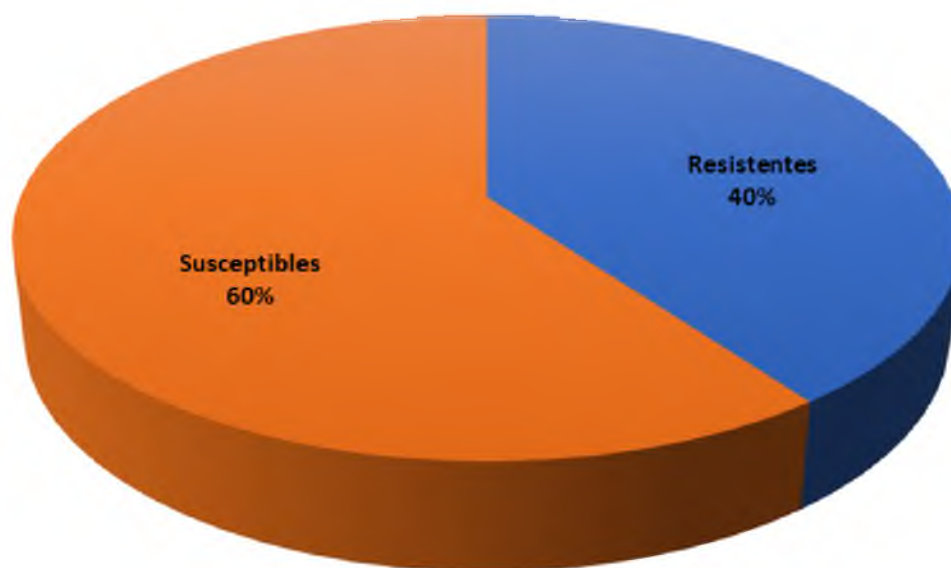


Figura 4. Porcentaje de subpoblaciones de garrapata *R. microplus* susceptibles/resistentes a la concentración de amitraz recomendada por los laboratorios en unidades de producción de Loma Bonita, Oaxaca.

Considerando lo anterior, en seis de las diez subpoblaciones de garrapata *R. microplus* incluidas, el amitraz mostró una eficacia mayor al 98 % cuando se

utilizó a una concentración de 0.05 %. Esto indica que, aunque funciona de manera adecuada en la mayoría de las unidades de producción, en otras ya no es efectivo. En contraparte, en un estudio realizado en el estado de Hidalgo, México, en el que se muestrearon 13 ranchos, se observó que cuando el coumaphos se utilizó a una concentración de 0.025 %, causó una mortalidad promedio del 99.78 % y en todos los ranchos fue efectivo (Valdez-Espinoza *et al.*, 2021). Las diferencias de resultados con este estudio pueden atribuirse al tipo de clima, pues mientras el presente estudio fue realizado en un clima cálido húmedo con lluvias abundantes en verano, el estudio en Hidalgo se desarrolló en un clima templado. Los climas cálidos y húmedos favorecen el ciclo de la garrapata, por lo que este se desarrolla más rápido y existe la necesidad de incrementar el número de aplicaciones a lo largo del año.

Considerando los resultados del presente estudio y aquellos que se citaron, se puede concluir que, aunque en la mayor parte de las unidades de producción el amitraz mostró una alta eficacia, en algunos ranchos ya se observan problemas de resistencia, lo que es indicativo de que han ocurrido fallas en el control de la garrapata cuando se utilizó este principio activo.

6.1.2. Cipermetrina. Pertenece al grupo de los piretroides, los cuales son compuestos poco tóxicos y con persistencia reducida. En el Cuadro 4 se muestra el efecto de diferentes concentraciones de cipermetrina sobre la mortalidad de larvas de *R. microplus* provenientes de unidades de producción de Loma Bonita, Oaxaca.

Cuadro 4a. Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de Loma Bonita, Oaxaca.

Rancho	Concentraciones (%)	Mortalidad corregida (%)
El Chaparro	0	0
	0.10	13
	0.20	20
	0.40	20
	0.80	81
	1.60	85
	3.20	95
Tres Arroyos	0	0
	0.10	1
	0.20	38
	0.40	93
	0.80	94
	1.60	100
	3.20	100
Rancho HH	0	0
	0.10	67
	0.20	91
	0.40	92
	0.80	93
	1.60	94
	3.20	96
La Esperanza	0	0
	0.10	65
	0.20	68
	0.40	81
	0.80	92
	1.60	99
	3.20	100
Tres Hermanos	0	0
	0.10	74
	0.20	81
	0.40	94
	0.80	98
	1.60	100
3.20	100	

Cuadro 4b (continuación). Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de Loma Bonita, Oaxaca.

Rancho	Concentraciones (%)	Mortalidad corregida (%)
El Arenal	0	0
	0.10	22
	0.20	35
	0.40	61
	0.80	67
	1.60	85
	3.20	87
El Esfuerzo	0	0
	0.10	45
	0.20	69
	0.40	87
	0.80	89
	1.60	91
	3.20	92
Tres Mujeres	0	0
	0.10	0
	0.20	0
	0.40	0
	0.80	20
	1.60	48
	3.20	59
El Nacaste	0	0
	0.10	7
	0.20	23
	0.40	40
	0.80	57
	1.60	67
	3.20	68
Los Encinos	0	0
	0.10	35
	0.20	45
	0.40	46
	0.80	49
	1.60	50
	3.20	71

En la Figura 3 se pueden observar los promedios de mortalidad provocados por las diferentes concentraciones de cipermetrina. Los promedios tuvieron un rango

de 32.9 % para la concentración más baja hasta 86.4 % para la concentración más alta. Ninguna de las concentraciones alcanzó el 100 % de eficacia, lo que indica que la resistencia a cipermetrina está ampliamente diseminada en las subpoblaciones incluidas en el estudio.

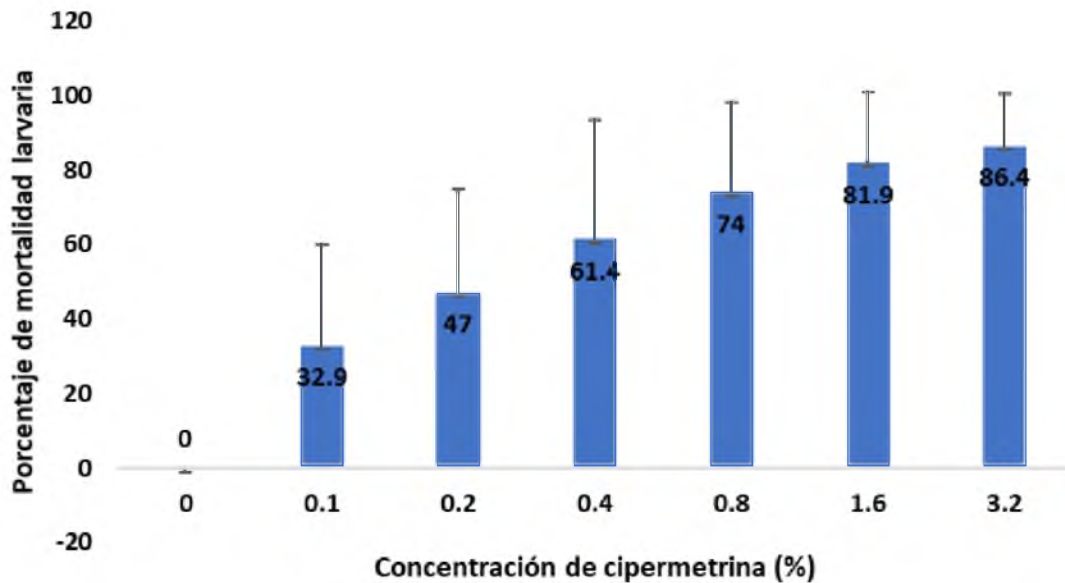


Figura 5. Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de Loma Bonita, Oaxaca.

Independientemente de la unidad de producción y de la concentración utilizada, la mortalidad larvaria global de los ensayos fue de 63.64 %, con un rango de 0 % a 100 %. Lo anterior indica una gran variabilidad en la respuesta y una eficacia baja de este principio activo en el control químico de la garrapata *R. microplus*. En México, para que un garrapaticida comercial sea considerado como efectivo

en el control de la garrapata, se requiere que tenga una eficacia superior al 98 % (NOM-006-ZOO-1993).

Cuando se consideró la concentración recomendada (0.2 %), la cipermetrina provocó una mortalidad del 47 %, con un rango de 0 % a 91 %. Este resultado es similar a lo observado por Rodríguez-Hidalgo *et al.* (2017) en Ecuador, quienes realizaron muestreos de garrapata en 12 unidades de producción lechera y observaron una mortalidad del 50 % cuando ocuparon cipermetrina al 0.2 %. En contraparte, la mortalidad larvaria obtenida en este trabajo fue inferior a lo registrado por Kumar y Manzer (2022), quienes realizaron un estudio que contempló tres villas del distrito de Rajasthan, en la India y notaron que la cipermetrina al 0.2 % causó una mortalidad promedio de 86.6 %. Los altos niveles de resistencia de las subpoblaciones evaluadas en este trabajo indican que éstas han sido sometidas a este principio activo por un largo tiempo, o bien, que su uso no ha sido racional.

El análisis de eficacia de la cipermetrina de la concentración recomendada (0.2 %) sobre la mortalidad larvaria mostró que en el 100 % de las unidades de producción, las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* son resistentes. Este resultado concuerda con lo registrado por Valdez-Espinoza *et al.* (2021), quienes muestrearon 13 unidades de producción en el estado de Hidalgo y observaron que en ninguna de ellas la cipermetrina al 0.2 % alcanzó una eficacia superior al 90 %. Los resultados de ambos estudios concuerdan con lo observado por Cuore *et al.* (2017), quienes realizaron un estudio en Uruguay en el que incluyeron 116 unidades de producción y observaron una resistencia del 91 %, en los piretroides,

constituyéndose como el grupo que más resistencia generó en el estudio. En otro estudio donde se evaluó la resistencia de *Rhipicephalus microplus* en Catacamas, Olancho, Honduras por Brizo y Lepe-López (2022), se determinó que la cipermetrina en la concentración recomendada provocó una mortalidad de 33 %, coincidiendo con el porcentaje bajo obtenido en este estudio.

Tomando en cuenta los resultados de este y otros estudios, se puede concluir que la resistencia a cipermetrina está ampliamente extendida en las subpoblaciones de garrapata incluidas en el estudio. Lo anterior tiene implicaciones prácticas porque los programas de control químico no deberían incluir este principio activo por un largo tiempo, para permitir que desaparezcan los genes de resistencia de las poblaciones.

6.1.3. Ivermectina. Desde su introducción, la ivermectina se convirtió en uno de los principios activos más utilizados debido a su alta eficacia en el control de los parásitos externos e internos y a su fácil aplicación. En el Cuadro 5 se muestra la mortalidad corregida causada por diversas concentraciones de ivermectina en larvas de la garrapata *R. microplus* procedentes de diversas unidades de producción de Loma Bonita, Oaxaca.

El análisis del porcentaje de mortalidad sin considerar el origen de las subpoblaciones de larvas ni la concentración de ivermectina utilizada arrojó un promedio de 92.15 %, con un rango de 12 % a 100 %, lo que da un indicio de que este principio activo es altamente eficaz en el control químico de la garrapata en la mayor parte de los ranchos evaluados.

Cuadro 5a. Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de ivermectina en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de Loma Bonita, Oaxaca.

Rancho	Concentraciones (%)	Mortalidad corregida (%)
El Chaparro	0	0
	0.03	36
	0.05	46
	0.08	94
	0.1	97
	0.12	100
	0.15	100
	0.18	100
	0.20	100
	0.25	100
	0.30	100
	0.40	100
Tres Arroyos	0	0
	0.03	12
	0.05	67
	0.08	100
	0.1	100
	0.12	100
	0.15	100
	0.18	100
	0.20	100
	0.25	100
0.30	100	
0.40	100	
Rancho HH	0	0
	0.03	97
	0.05	100
	0.08	100
	0.1	100
	0.12	100
	0.15	100
	0.18	100
	0.20	100
	0.25	100
0.30	100	
0.40	100	

Cuadro 5b (continuación). Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de ivermectina en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de Loma Bonita, Oaxaca.

Rancho	Concentraciones (%)	Mortalidad corregida (%)
La Esperanza	0	0
	0.03	85
	0.05	100
	0.08	100
	0.1	100
	0.12	100
	0.15	100
	0.18	100
	0.20	100
	0.25	100
	0.30	100
	0.40	100
Tres Hermanos	0	0
	0.03	59
	0.05	94
	0.08	95
	0.1	100
	0.12	100
	0.15	100
	0.18	100
	0.20	100
	0.25	100
0.30	100	
0.40	100	
El Arenal	0	0
	0.03	78
	0.05	94
	0.08	96
	0.1	100
	0.12	100
	0.15	100
	0.18	100
	0.20	100
	0.25	100
0.30	100	
0.40	100	

Cuadro 5c (continuación). Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de ivermectina en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de Loma Bonita, Oaxaca.

Rancho	Concentraciones (%)	Mortalidad corregida (%)
El Esfuerzo	0	0
	0.03	85
	0.05	99
	0.08	99
	0.1	100
	0.12	100
	0.15	100
	0.18	100
	0.20	100
	0.25	100
	0.30	100
	0.40	100
	Tres Mujeres	0
0.03		23
0.05		32
0.08		41
0.1		48
0.12		90
0.15		99
0.18		100
0.20		100
0.25		100
El Nacaste	0	0
	0.03	38
	0.05	55
	0.08	59
	0.1	85
	0.12	93
	0.15	97
	0.18	97
	0.20	97
0.25	100	
0.30	100	
0.40	100	

Cuadro 5d (continuación). Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de ivermectina en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de Loma Bonita, Oaxaca.

Rancho	Concentraciones (%)	Mortalidad corregida (%)
	0	0
	0.03	72
	0.05	88
	0.08	94
	0.1	97
Los Encinos	0.12	99
	0.15	100
	0.18	100
	0.20	100
	0.25	100
	0.30	100
	0.40	100

En la Figura 6 se puede apreciar la mortalidad promedio causada por cada una de las concentraciones de ivermectina utilizadas en esta investigación. En términos generales, se observa que, en siete de las once concentraciones utilizadas, se logró una mortalidad superior a 98 %. A partir de que la ivermectina tiene una concentración al 0.12 %, la mortalidad larvaria fue de 98.12 %. Las concentraciones superiores también provocaron mortalidad larvaria superior. Asimismo, es importante remarcar que la concentración de ivermectina recomendada por los laboratorios (0.2 %) provocó una mortalidad larvaria de 99.7%. Si se compara el desempeño de la ivermectina con el de la cipermetrina, se observa que el primer compuesto provoca una mayor mortalidad y que los resultados entre las diferentes unidades de producción son más constantes. Lo anterior, indica que este principio activo es altamente eficaz en el control químico de la garrapata cuando se utiliza de manera correcta.

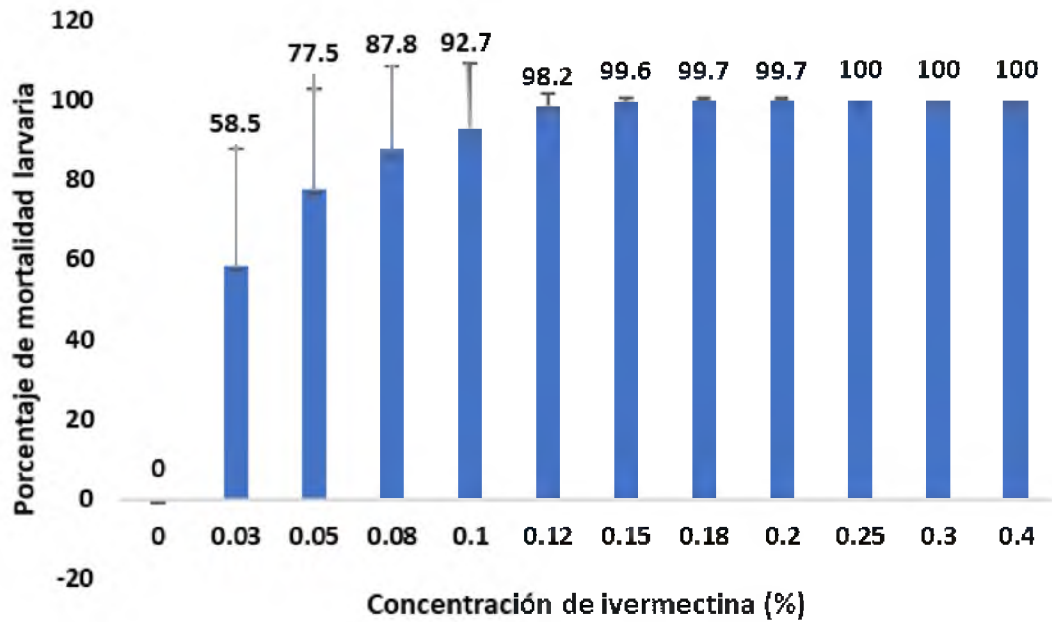


Figura 6. Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de ivermectina en subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de Loma Bonita, Oaxaca.

El análisis de subpoblaciones de garrapata *R. microplus* que aún son susceptibles a la ivermectina cuando se utiliza a la concentración recomendada por los laboratorios, es también muy importante porque permite identificar las unidades de producción problema, en las que se debe buscar otra alternativa en el control químico y establecer una estrategia para revertir la ineficacia de este grupo químico. En la Figura 7 se puede apreciar el porcentaje de subpoblaciones de garrapata *R. microplus* incluidas en este estudio que a la concentración recomendada de ivermectina (0.2 %) mostraron una mortalidad larvaria menor a 98 %.

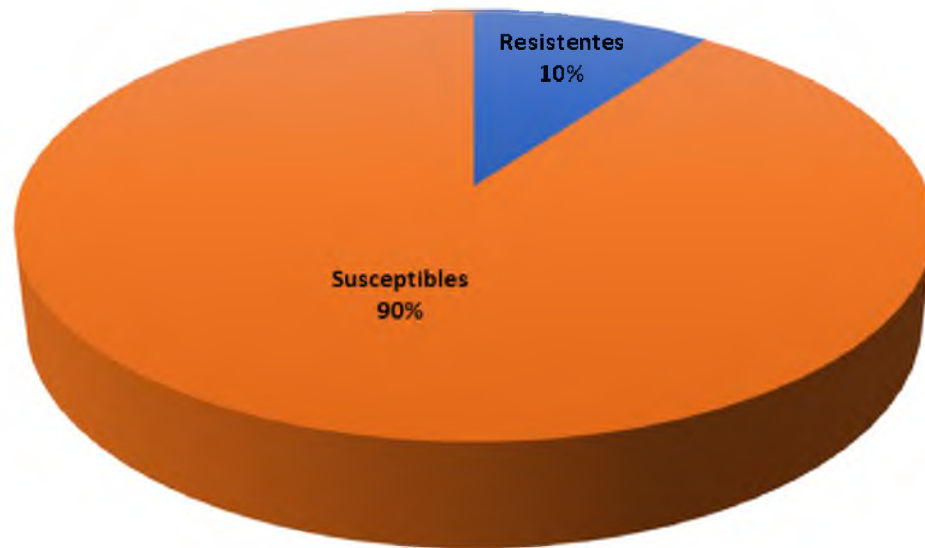


Figura 7. Porcentaje de subpoblaciones de garrapata *R. microplus* susceptibles/resistentes a la concentración de ivermectina recomendada por los laboratorios en unidades de producción de Loma Bonita, Oaxaca.

De las diez subpoblaciones de garrapata *R. microplus* incluidas en este estudio, se observó que la concentración recomendada de ivermectina aún es altamente eficaz en nueve, mientras que en la restante se registró una mortalidad larvaria de 97 %, lo cual no es suficiente para considerar este principio activo en esa subpoblación en específico, de acuerdo con lo establecido por la NOM-006-ZOO-1993, que establece que se requiere una mortalidad igual o superior a 98 %. En un estudio realizado en unidades de producción bovino de la zona centro de Veracruz, se observó que el 53 % de las poblaciones de garrapatas que fueron muestreadas presentó resistencia al contacto con ivermectina, por lo que los autores recomendaron algunas estrategias para minimizar el riesgo de resistencia a este principio activo (Sánchez, 2014).

Los resultados de este estudio permiten concluir que la mayor parte de las subpoblaciones de garrapata incluidas, todavía son susceptibles a la acción de la ivermectina, por lo que este principio activo debe utilizarse de manera racional para evitar la pérdida de su eficacia.

6.2. Determinación de la CL₅₀, CL₉₀ y CL₉₉ para los principios activos incluidos en el estudio

El cálculo de las dosis letales es un parámetro muy importante para la industria farmacéutica. En el presente trabajo, no se debe perder de vista que esta medida se refiere a la concentración de los ixodicidas que es capaz de causar una mortalidad larvaria en niveles del 50 %, 90 % y 99 %. En términos prácticos, la CL₉₉ es la más importante porque indica la concentración capaz de provocar la muerte del 99 % de las larvas, lo que indica ausencia de resistencia.

6.2.1. Amitraz. Los datos de CL₅₀, CL₉₀ y CL₉₉, así como el valor de la pendiente del análisis probit del amitraz llevado a cabo para diferentes subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de Loma Bonita; Oaxaca, se presentan en el Cuadro 6.

De manera general, se observó una mortalidad dependiente de la concentración en todas las subpoblaciones de garrapata evaluadas.

Los valores de la pendiente de mortalidad inducida por amitraz, calculada en el análisis probit, fueron muy variables, con un rango de 0.58 a 5.84. En términos generales, los valores de pendiente superiores a 2.5 y los valores distantes entre

CL₅₀, CL₉₀ y CL₉₉ indican que la respuesta a cada una de las concentraciones está muy diferenciada (Villar *et al.*, 2016).

Cuadro 6. Concentraciones de amitraz calculadas mediante el análisis probit para lograr la Concentración Letal al 50 % (CL₅₀), 90 % (CL₉₀) y 99 % (CL₉₉) en larvas de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción de Loma Bonita, Oaxaca.

Rancho	Pendiente ± EE	CL 50 % (I.C. 95 %)	CL 90 % (I.C. 95 %)	CL99 % (I.C. 95 %)
El Chaparro	—*	—	—	—
Tres Arroyos	3.30±1.67	0.006 (0.000-0.010)	0.015 (0.000-0.030)	0.031 (0.021-5.7X10 ³⁶)
Rancho HH	2.09±2.58	0.005 (0.001-0.009)	0.021 (0.015-0.030)	0.065 (0.040-0.288)
La Esperanza	2.42±2.56	0.002	0.007	0.020
Tres Hermanos	1.44±0.71	0.001 (0.000-0.005)	0.009 (0.000-0.016)	0.045 (0.025-2.5X10 ⁶)
El Arenal	5.84±2.14	0.014 (0.011-0.016)	0.024 (0.019-0.074)	0.36 (0.025-0.317)
El Esfuerzo	1.87±0.57	0.004 (0.000-0.007)	0.018 (0.011-0.027)	0.066 (0.039-0.410)
Tres Mujeres	1.05±0.20	0.009 (0.004-0.015)	0.155 (0.096-0.379)	1.52 (0.55-12.66)
El Nacaste	0.58±0.17	0.004 (0.000-0.012)	0.732 (0.235-43.44)	47.39 (3.46-1.0X10 ⁶)
El Encino	0.97±0.24	0.002 (0.000-0.006)	0.048 (0.030-0.094)	0.568 (0.209-8.90)

*Debido a la mortalidad tan alta en el grupo testigo, se decidió eliminar el bioensayo de esa unidad de producción

La CL₉₉ fue muy variable entre las diferentes unidades de producción y mostró un promedio de 5.5 % y un rango de 0.02 % a 47.39 %. De todas las subpoblaciones incluidas en el estudio, sólo en una de ellas (La Esperanza), la CL₉₉ fue menor que la concentración recomendada por los laboratorios comerciales (0.02 % y 0.025 %, respectivamente). En las demás poblaciones, la CL₉₉ se mostró muy por arriba de la concentración recomendada. Los resultados de este estudio fueron diferentes a los reportados por Gutiérrez-Wong *et al.* (2023), quienes calcularon la CL₉₉ de 0.019 de garrapatas obtenidas de un rancho perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán. La diferencia de resultados puede deberse a que en el estudio citado únicamente se analizó un

rancho, mientras que en este estudio se incluyeron diez. En el mismo sentido, Jyoti *et al.* (2021), tomaron muestras de garrapata de 19 granjas lecheras del estado de Punjab en la India y registraron un rango para la CL₉₉ de 0.0031 a 0.0435. Las diferencias de este último estudio y la presente investigación pueden atribuirse a que los ranchos llevan a cabo un manejo específico en el control químico de la garrapata. Los valores para la CL₉₉ extremadamente altos que se obtuvieron en el presente estudio en algunos ranchos, indica que el amitraz no se utilizó de manera racional, por lo que se debería cambiar de grupo para el control químico de la garrapata.

6.2.2. Cipermetrina. Los datos de CL₅₀, CL₉₀ y CL₉₉, así como el valor de la pendiente del análisis probit de la cipermetrina llevado a cabo para diferentes subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de Loma Bonita, Oaxaca, se presentan en el Cuadro 7. Al igual que con el amitraz, se observó una mortalidad dependiente de la concentración en todas las subpoblaciones de garrapata evaluadas.

Algo que resalta en el cuadro, son los valores tan bajos de la pendiente de mortalidad larvaria provocada por la cipermetrina, lo que indica que la distancia entre la CL₅₀, CL₉₀ y CL₉₉ fue considerable. En nueve de las diez subpoblaciones de garrapata evaluadas, el análisis probit generó una pendiente menor a 2.5.

Cuadro 7. Concentraciones de cipermetrina calculadas mediante el análisis probit para lograr la Concentración Letal al 50 % (CL₅₀), 90 % (CL₉₀) y 99 % (CL₉₉) en larvas de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción de Loma Bonita, Oaxaca.

Rancho	Pendiente ± EE	CL ₅₀ (I.C. 95 %)	CL ₉₀ (I.C. 95 %)	CL ₉₉ (I.C. 95 %)
El Chaparro	1.70±0.12	0.52 (0.07-2.89)	2.97 (1.00-1.3X10 ⁵)	12.31 (2.48-3.1X10 ⁹)
Tres Arroyos	4.28±0.33	0.24 (0.14-0.39)	0.48 (0.32-1.94)	0.85 (0.48-9.60)
Rancho HH	0.62±0.14	0.00	0.57	27.35
La Esperanza	1.35±0.16	0.07 (0.01-0.14)	0.61 (0.35-2.21)	3.60 (1.29-120.78)
Tres Hermanos	1.56±0.23	0.04 (0.02-0.07)	0.28 (0.22-0.38)	1.33 (0.84-2.88)
El Arenal	1.33±0.12	0.34 (0.28-0.42)	3.17 (2.28-4.93)	19.44 (10.99-43.11)
El Esfuerzo	1.05±0.13	0.08 (0.00-0.18)	1.33 (0.64-11.77)	13.35 (3.16-3,490.71)
Tres Mujeres	1.12±0.11	1.24 (0.98-1.65)	17.28 (9.72-40.6)	148.21 (59.29-576.09)
El Nacaste	1.23±0.11	0.82 (0.50-1.50)	9.08 (3.71-74.22)	64.34 (15.18-2,223.29)
El Encino	0.24±0.10	1.52 (0.57-351.38)	416,716	11,295,661,949

Los valores tan bajos de la pendiente de mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina indican una alta heterogeneidad de los niveles de resistencia de las subpoblaciones estudiadas. La CL₉₉ tuvo un valor promedio de 1,129,566,224 %, con un rango de 0.85 a 11,295,661,949, lo que da un indicio del nivel de resistencia de la garrapata a este principio activo. En todas las subpoblaciones, la CL₉₉ fue mayor a la concentración recomendada (0.20 %) por los laboratorios comerciales para el control de la garrapata. Este resultado difiere de lo observado por Cabrera-Jiménez *et al.* (2008), quienes evaluaron 31 ranchos ubicados en la zona oriente de Yucatán, México, y calcularon una CL₉₉ promedio de 9.58 %, con un rango de 0.23 % a 124 %. La diferencia entre este y el estudio referido puede deberse a diferencias en el manejo de los piretroides a lo largo del tiempo en el interior de las unidades de producción. Además, se debe considerar que el estudio citado se realizó en 2008, es decir, hace 16 años. Se ha determinado que, con un manejo irracional de los

ixodicidas, el nivel de resistencia se va incrementado con el tiempo (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006).

El análisis de las diferentes subpoblaciones de garrapatas indica que en ninguna de ellas la CL₉₉ es menor que la dosis recomendada de cipermetrina (0.2 %). Lo anterior indica que este principio activo es ineficaz para el control químico de la garrapata en las subpoblaciones incluidas en el estudio.

6.2.3. Ivermectina. La ivermectina es un principio activo que se ha utilizado de manera predominante en los bovinos para el control de los nemátodo gastrointestinales. En el Cuadro 8, se presentan los datos de CL₅₀, CL₉₀ y CL₉₉, así como el valor de la pendiente del análisis probit de la ivermectina llevado a cabo para diferentes subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de Loma Bonita, Oaxaca.

Cuadro 8. Concentraciones de ivermectina calculadas mediante el análisis probit para lograr la Concentración Letal al 50 % (CL₅₀), 90 % (CL₉₀) y 99 (CL₉₉) en larvas de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción de Loma Bonita, Oaxaca.

Rancho	Pendiente ± EE	CL ₅₀ (I.C. 95 %)	CL ₉₀ (I.C. 95 %)	CL ₉₉ (I.C. 95 %)
El Chaparro	3.98±0.28	0.037 (0.028-0.046)	0.078 (0.064-0.11)	0.14 (0.11-0.25)
Tres Arroyos	7.43±0.64	0.043 (0.041-0.046)	0.064 (0.060-0.071)	0.089 (0.079-0.103)
Rancho HH	3.06±1.57	0.007	0.019	0.042
La Esperanza	3.71±0.89	0.015 (0.007-0.020)	0.033 (0.026-0.039)	0.063 (0.050-0.107)
Tres Hermanos	4.35±0.53	0.026 (0.021-0.029)	0.51 (0.046-0.058)	0.089 (0.075-0.115)
El Arenal	3.25±0.48	0.018 (0.012-0.022)	0.043 (0.038-0.050)	0.091 (0.074-0.128)
El Esfuerzo	3.63±0.25	0.016 (0.008-0.021)	0.035 (0.029-0.041)	0.068 (0.055-0.108)
Tres Mujeres	3.81±0.21	0.067 (0.047-0.086)	0.145 (0.111-0.237)	0.273 (0.183-0.668)
El Nacaste	3.01±0.20	0.045 (0.034-0.055)	0.120 (0.101-0.153)	0.267 (0.199-0.427)
El Encino	2.87±0.33	0.019 (0.14-0.024)	0.055 (0.048-0.063)	0.127 (0.104-0.171)

En el Cuadro 8 se muestran valores de la pendiente de mortalidad larvaria provocada por la ivermectina, los cuales fueron calculados en el análisis probit. A diferencia de los otros principios activos evaluados, la pendiente del análisis probit realizado para ivermectina, muestra valores superiores a 2.5, lo que indica que la respuesta a este principio activo fue relativamente homogénea y que, en la mayoría de las subpoblaciones analizadas aún no existe resistencia.

De manera general, se observó una mortalidad dependiente de la concentración en todas las subpoblaciones de garrapata evaluadas. Los valores de la pendiente de mortalidad inducida por ivermectina, calculada en el análisis probit, tuvieron un promedio de 3.91, con un rango de 2.87 a 7.47. Estos resultados guardan cierta similitud con los reportados por Torrents *et al.* (2020), quienes realizaron un estudio en once comunidades de Argentina y las pendientes obtenidas en el análisis probit tuvieron un promedio de 5.20, con un rango de 1.86 a 8.12. En términos generales, los valores de pendiente superiores a 2.5 y los valores cercanos entre CL₅₀, CL₉₀ y CL₉₉ indican que el principio activo aún es eficaz para obtener la respuesta esperada (Villar *et al.*, 2016).

La CL₉₉ tuvo un promedio de 0.12 % y un rango de 0.042 % a 0.27 %. De las subpoblaciones de garrapata incluidas en el estudio, solo en dos de ellas la concentración necesaria para provocar el 99 % de mortalidad larvaria fue mayor a la recomendada por los laboratorios comerciales, lo que corrobora que este principio activo aún muestra eficacia en casi todos los ranchos incluidos en el estudio. Estos resultados difieren de lo encontrado en un estudio realizado en once ranchos de Argentina, en el que se encontró una CL₉₉ promedio de 0.014 %,

con un rango de 0.0013 % a 0.08 % (Torrents *et al.*, 2020). En otro estudio realizado en tres ranchos de Antioquia, Colombia, se obtuvo una CL₉₉ promedio de 0.064 %, con un rango de 0.035 % a 0.098 % (Villar *et al.*, 2016). Las diferencias de resultados entre el presente trabajo y los estudios citados, indican que, en el municipio de Loma Bonita, Oaxaca existe mayor resistencia a la ivermectina, ya que se requiere una mayor concentración del principio activo para matar al 99 % de larvas. Aunque en el presente trabajo se utilizó la técnica del paquete larvario para medir la resistencia a la ivermectina y en los estudios citados la técnica de inmersión larvaria, se considera que los resultados entre ambas técnicas no difieren de manera significativa, por lo que es válido realizar la comparación (Alonso-Díaz *et al.*, 2006).

De las diez subpoblaciones de garrapata *R. microplus* incluidas en el estudio, en ocho de ellas la concentración recomendada de ivermectina (0.2 %) es capaz de inducir la mortalidad del total de las larvas y en dos, se requiere de una dosis mayor para garantizar la muerte de las larvas.

Si se considera el conjunto de resultados de la presente investigación y de los trabajos citados, se puede concluir que, aunque en algunas unidades de producción la garrapata ya muestra resistencia a la ivermectina, en la mayor parte de ellas aún es un principio activo que muestra eficacia en el control químico de este parásito.

6.3. Identificación de las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* que presentan resistencia múltiple a ixodicidas

La determinación de la resistencia simultánea de la garrapata *R. microplus* a varios ixodicidas es especialmente importante, si se considera a las sustancias garrapaticidas como recursos no renovables. Cada uno de los grupos químicos de ixodicidas tiene un mecanismo de acción diferente. Por lo tanto, cuando una subpoblación de garrapatas exhibe resistencia múltiple debe ser considerada como problemática, porque las opciones que se pueden utilizar se reducen drásticamente. En la Figura 8 se puede observar el porcentaje de las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* incluidas en el estudio que fueron resistentes a uno, dos o tres ixodicidas.

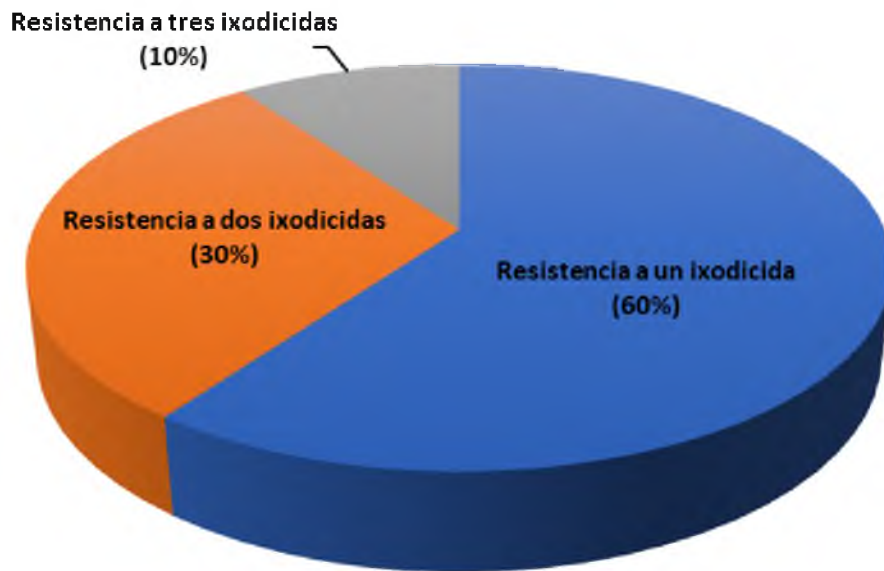


Figura 8. Porcentaje de subpoblaciones de garrapata *R. microplus* que muestran resistencia simultánea a dos o tres grupos de ixodicidas en unidades productivas de Loma Bonita, Oaxaca.

En el presente estudio se observó que el 60 %, 30 % y 100 % de los hatos muestreados presento subpoblaciones de garrapatas con resistencia simultánea a uno, dos y tres grupos de ixodicidas, respectivamente. Estos resultados son diferentes a los reportados Valdez-Espinoza *et al.* (2021), quienes estudiaron la susceptibilidad de la garrapata *R. microplus* a los ixodicidas en trece ranchos bovinos de Hidalgo, México, y observaron que el 84.6 % de las subpoblaciones de garrapata fue resistente a tres grupos de ixodicidas, el 7.7 % fue resistente a cuatro grupos químicos y el 7.7 % mostró resistencia únicamente a los piretroides. La diferencia con este estudio radica en que en el estudio citado se evaluaron varios ixodicidas pertenecientes al grupo de los organofosforados, piretroides, amidinas y fenilpirazolonas, mientras que en la presente investigación se incluyó una amidina, un piretroide y un endectocida. La evaluación de resistencia a los endectocidas es poco frecuente, debido a que este principio activo se utiliza principalmente para combatir las nematodosis en bovinos.

El 100 % de las subpoblaciones de garrapatas incluidas en el estudio mostró resistencia a la cipermetrina. Este resultado concuerda con lo observado por Valdez-Espinoza *et al.* (2021), quienes, en un estudio realizado en trece hatos bovinos de Hidalgo, México, reportan que en ninguno de los hatos evaluados la cipermetrina alcanzó una eficacia superior al 90 %. Saporiti *et al.* (2021), realizaron un estudio de resistencia de 47 poblaciones de garrapatas en el norte de Uruguay para cinco grupos químicos. Observaron que 46 poblaciones (97.9 %) fueron resistentes a piretroides. Además, en otro estudio realizado en Uruguay para determinar la presencia de resistencia múltiple, se observó que el

91 % de las subpoblaciones de garrapata analizadas fue resistente a los piretroides (Cuore *et al.*, 2017).

En el presente estudio, el 30 % de las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* estudiadas, mostró una resistencia simultánea a amitraz y cipermetrina. La resistencia simultánea a amidinas y piretroides también ha sido reportada en varios estudios. Así, Valdez-Espinoza *et al.* (2021) reportó que en once de los trece ranchos que evaluaron (84.6 %), tanto el amitraz como la cipermetrina no fueron eficaces para controlar la garrapata. En el mismo sentido, en el 47.2 % de ranchos de bovinos del estado de Veracruz, México, se observó la presencia de resistencia simultánea a amitraz y cipermetrina (Fernández-Salas *et al.*, 2012).

En la presente investigación únicamente en uno de los diez ranchos analizados se observó resistencia múltiple a amitraz, cipermetrina e ivermectina. La resistencia múltiple a amitraz, cipermetrina e ivermectina es más difícil de probar debido a que la resistencia a ivermectina es menos frecuente, en parte porque se utiliza menos en el control químico de la garrapata y porque los bioensayos que la contemplan también son menos (Pérez-Cogollo *et al.*, 2010a). En un estudio realizado en 30 unidades de producción bovina de Yucatán, México, se concluyó que la resistencia de la garrapata a ivermectina es baja, lo que se confirma con lo observado en este trabajo (Pérez-Cogollo *et al.*, 2010b).

En conclusión, la resistencia múltiple es más frecuente en piretroides (cipermetrina) y amidinas (amitraz). La baja frecuencia de resistencia a ivermectina se debe a que se usa poco en el control químico de la garrapata.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

El uso de los principios activos en concentraciones recomendadas por los laboratorios ofreció resultados contrastantes con respecto a la eficacia. Aunque el amitraz causó una alta mortalidad larvaria, se detectó que en el 60 % de las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* incluidas en el estudio ya se observan problemas de resistencia. La cipermetrina causó una baja mortalidad larvaria y en todas las subpoblaciones ya existe resistencia a este principio activo. En el caso de la ivermectina, fue un principio activo altamente eficaz en el control químico de la garrapata, aunque en una subpoblación se detectó resistencia.

Las CL₉₉ calculadas para el amitraz indicaron que solo en una subpoblación de garrapata *R. microplus* de las incluidas en el estudio el valor fue menor a la concentración recomendada por los laboratorios comerciales. Para la cipermetrina, la CL₉₉ calculada fue mayor a la concentración recomendada en todas las subpoblaciones de garrapata. Para la ivermectina, la CL₉₉ calculada fue mayor que la concentración recomendada en solo dos de las subpoblaciones estudiadas.

De las diez subpoblaciones de garrapata *R. microplus* incluidas en el estudio, en una se presentó resistencia múltiple a amitraz, cipermetrina e ivermectina, en seis, resistencia simultánea a amitraz y cipermetrina y en tres, únicamente resistencia a cipermetrina.

Las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* incluidas en el estudio muestran alto grado de resistencia a cipermetrina, resistencia intermedia a amitraz y un bajo nivel de resistencia a ivermectina.

7.2. Recomendaciones

Las concentraciones de los principios activos evaluados en el presente estudio, se establecieron siguiendo las recomendaciones de la FAO. Sin embargo, en algunos principios activos (como la cipermetrina), esas concentraciones fueron insuficientes para caracterizar la magnitud de la resistencia, por ello, se recomienda ampliar los rangos de concentraciones, para caracterizar de una manera más precisa el nivel de resistencia.

En alguno de los bioensayos, la mortalidad del grupo testigo fue mayor a la observada en los grupos tratados, por lo que se anuló el bioensayo. Para evitar ese tipo de contratiempos, se recomienda llevar a cabo repeticiones de cada uno de los bioensayos.

El hecho de que en el 100 % de las unidades de producción haya resistencia a los piretroides, permite recomendar que se elimine este principio activo de los programas de control químico de la garrapata por un tiempo prolongado, para permitir la dilución de los genes de resistencia.

Para disminuir la resistencia a amitraz en las unidades de producción de Loma Bonita, Oaxaca, se recomienda realizar un diagnóstico de resistencia inicial y dependiendo del estatus del hato, ofrecer a los productores alternativas entre los

diferentes grupos de ixodicidas, con el fin de disminuir la presión de selección a este principio activo.

Para evitar que la resistencia a la ivermectina siga avanzando, se recomienda utilizar de manera racional este principio activo. Lo anterior se puede lograr implementando programas de rotación de ixodicidas, con el fin de exterminar las poblaciones resistentes.

8. LITERATURA CITADA

Aguilar D.J.H., Quiroz C.R.E., Miranda M.E., Cossío B.R., Salazar M. K. 2021.

Método de extracción de alto rendimiento de hemolinfa de la garrapata *Rhipicephalus microplus*. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad. Disponible en: https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/media/folletotecnico/14356_5116_M%c3%a9todo_de_extracci%c3%b3n_de_alto_rendimiento_de_hemolinfa_de_la_garrapata_Rhipicephalus_microplus.pdf.

Consultado en julio de 2023.

Alonso-Díaz M.A., Fernández-Salas A. 2022. *Rhipicephalus microplus*: biología, control y resistencia. Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical- UNAM. Disponible en: <https://www.fmvz.unam.mx>.

Consultado en abril de 2023.

Alonso-Díaz M.A., Rodríguez-Vivas R.I., Fragoso-Sánchez H., Rosario-Cruz R. 2006. Resistencia de la garrapata *Boophilus microplus* a los ixodicidas. *Archivos de medicina veterinaria*. 38(2):105-114.

Alota S.L., Edquiban T.R.J., Galay R.L., Bernardo J.M.G., Sandalo K.A.C., Divina B.P., Tanaka T. 2021. Determination of resistance status to amitraz in the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* from Luzon, Philippines, through bioassay and molecular analysis. *Experimental and Applied Acarology*. 83 (3): 399-409.

- Álvarez C.V. 2016. Análisis de posibles métodos o alternativas, potencialmente útiles, a incorporar en un programa de control integrado de las garrapatas (CIG) del bovino, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. Servicio Nacional de la Salud Animal. Costa Rica. Disponible en: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L72-11022.pdf> .
- Arce R.R., Aranda I.E.M., Osorio A.M.M., González G.R., Díaz R.P., Hinojosa C.J.A. 2017. Evaluación de parámetros productivos y reproductivos en Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 8(1):83-91.
- Bravo M.J., Coronado A., Henríquez H. 2008. Susceptibilidad de larvas y adultos de *Boophilus microplus* al ixodicida coumafos en explotaciones lecheras del estado Lara, Venezuela. *Revista Zootecnia Tropical*. 26(1):41-46.
- Brizo M.J.M., Lepe-López M.A. 2022. Evaluación in vitro de cinco ixodicidas contra *Rhipicephalus microplus* en Catacamas, Olancho, Honduras. *Revista Medicina Veterinaria y Zootecnia Córdoba*. 27(2):1-9.
- Cabrera-Jimenes D., Rodríguez-Vivas R.I., Rosado-Aguilar J.A. 2008. Evaluación de la resistencia a la cipermetina en cepas de campo de *Boophilus microplus* obtenidas de ranchos bovinos del estado de Yucatán, México. *Técnica Pecuaria en México*. 46(4): 439-448.
- Carneiro L.A.D. 2021. Evaluación de la asociación de distintos propágulos de *Metarhizium spp.* Acaricidas comerciales para el control de *Rhipicephalus microplus* (Tesis de Maestría). Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro, Río de Janeiro, Brasil. 66 p.

- Castañeda A.R.O., Álvarez M.J.A., Rojas M.C., Lira A.J.J., Ríos U.Á., Martínez I.F. 2021. Nivel de infestación de *Rhipicephalus microplus* y su asociación con factores climatológicos y la ganancia de peso en bovinos *Bos taurus* x *Bos indicus*. *Revista Mexicana Ciencia Pecuaria*. 12(1):273-285.
- Castillo E.J.A., Abdelyabar H.D. 2013. Determinación de la duración del ciclo de vida de la garrapata *Rhipicephalus sanguineus* a tres temperaturas de incubación (Tesis de licenciatura). Universidad de la Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 81 p.
- Castro J.E., Sato S.T.T., Marcodes K.G., Rifran L., González P., Niell C., Namindome A., Gil A., Piaggio J., Martins J.R., Mendes M.C., Miller R.J. 2012. Proyecto FPTA 243: Adecuación de bioensayos para la determinación de resistencia de *Boophilus microplus* a fipronil e ivermectina, y verificación de resistencia cruzada entre ambas drogas. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2830/1/18429230712114518.pdf>.
- Cen P.F., Peniche C.A., Sánchez O.M.G., Mondragón V.K., Domínguez C.J.G., Antonio O.U. 2017. La garrapata común del ganado: antecedentes, problemática actual y alternativa de control. *Revista Electrónica de la Coordinación Universitaria de Observatorios de la Universidad Veracruzana*. 3:37-43.

- Cen-Aguilar, J. F., Rodríguez-Vivas, R. I., Domínguez-Alpízar, J. L., Wagner, G. G. (1998). Studies on the effect of infection by *Babesia sp.* on oviposition of *Boophilus microplus* engorged females naturally infected in the Mexican tropics. *Veterinary Parasitology*. 78(4): 253-257.
- Cortés V.J.A., Betancourt E.J.A., Argüelles C.J., Pulido H.L.A. 2010. Distribución de garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en bovinos y fincas del Altiplano cundiboyacense (Colombia). *Corpioca. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 11(1):73-84.
- Coure U., Solari M.A., Trelles A. 2017. Situación de la resistencia y primer diagnóstico de poblaciones de garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* resistente a cinco principios activos en forma simultánea en Uruguay. *Veterinaria (Montevideo)*. 53(205):2-2.
- Cuore U. 2006. Resistencia a los acaricidas, manejo y perspectivas. XXXIV Jornadas de Buiatria Paysandú. Disponible en: https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agriculturapesca/sites/ministerio-ganaderiaagriculturapesca/files/documentos/publicaciones/resistencia_pasaritaria_manejo_y_perspectivas.pdf.
- Díaz E.R., Vallejo G. 2013. Identificación de un polimorfismo del gen Est9 relacionado con resistencia a piretroides en *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Revista MVZ Córdoba*. 18(Supl):3708-3714.

- Díaz R.E. 2012. Mecanismos moleculares y bioquímicos de resistencia a acaricidas en la garrapata común de los bovinos *Rhipicephalus microplus*. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*. 5(1):72-81.
- Domínguez G.D.I., Rosario C.R., Almazán G.C., Saltijeral O.J.A., De la Fuente J. 2010. *Boophilus microplus*: Aspectos biológicos y moleculares de la resistencia a los acaricidas y su impacto en la salud animal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12(2):181-192.
- Domínguez G.D.I., Torres A.F., Rosario C.R. 2016. Evaluación económica del control de garrapatas *Rhipicephalus microplus* en México. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*. 5(9):1-10.
- Echeverry P., Ríos O. D. N., Alberto L. 2016. Aspectos biológicos y ecológicos de las garrapatas duras. *Revista Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 17(1): 81-95.
- Estrada-Peña A. 2015. Garrapatas. morfología, fisiología y ecología. Edición América Latina. Editorial SERVER, España. 104 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2004. Resistance management and integrated parasites control in ruminants-guidelines. Module 1: ticks: acaricide resistance, diagnosis, management and prevention. Food and Agriculture Organization. Animal Production and Health Division. Rome. Disponible en: <https://www.fao.org/3/aq014e/aq014e.pdf>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2003. Resistencia a los antiparasitarios. Estudio FAO producción y

sanidad animal. Roma. Disponible en:
<https://www.fao.org/3/y4813s/y4813s.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2010. Manejo Sanitario Eficiente del Ganado Bovino: Principales Enfermedades. Asistencia Técnica. Roma Italia. Disponible en:
<https://www.fao.org/3/as497s/as497s.pdf>.

Fernández-Salas A., Rodríguez-Vivas R.I., Alonso-Díaz M.Á. 2012. Resistance of *Rhipicephalus microplus* to Amitraz and Cypermethrin in Tropical Cattle Farms in Veracruz, México. *The Journal of Parasitology*. 98(5):1010-1014.

Ferretto R. 2013. Reseña de la literatura sobre *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Tesis de Licenciatura). Universidad Federal de Rio Grande do Sul. 46 p.

Flores F. J. M. 2015. Caracterización molecular de secuencias ESTs codificantes de proteínas de membrana con potencial inmunoprotector en la garrapata del ganado bovino *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Tesis de Doctorado). Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. 126 p.

García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 5ª edición. Instituto de Geografía. INUNAM. Distrito Federal, México. Serie libros. 91 p.

González A., Tapias D., Pérez M., Carvajalino M., Velandia D., Borges R. 2011. Evaluación de Acaricidas para el control de garrapatas (*Rhipicephalus*

(*Boophilus microplus*) que afectan al ganado bovino de doble propósito usando modelos lineales generalizados. *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ*. 28(4):487-502.

Grajales R.J.G. 2019. Evaluación ixodicida de Acacia cornígera sobre larvas de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus (acari:ixodidae)* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Chiapas. 52 p.

Gutiérrez-Wong J.R., Rosado A.J.A., Rodríguez-Vivas R.I. 2023. First report of acaricidal efficacy from plumbagin on larvae of *Rhipicephalus microplus* and *Rhipicephalus sanguineus* resistant to conventional acaricides. *National Library of Medicine*. 255:108-632.

Herrera L.E. 2022. Estudio y control en garrapatas en el ganado bovino. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Disponible en: <https://www.gob.mx/inifap/articulos/estudio-y-control-en-garrapatas-en-el-ganado-bovino-inifap>.

Hitchcock, L. F. 1955. Studies on the non-parasitic stages of the cattle tick, *Boophilus microplus* (Canestrini) (Acarina Ixodidae). *Australian Journal of Zoology*. 3 (3): 295-311.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2007. La garrapata *Boophilus microplus* y su manejo en la planicie Huasteca. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Folleto técnico. Disponible en: <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/180.pdf>.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias).

2013. Estrategias para el control integrado de garrapata (*Boophilus spp.*) en la producción de bovinos de carne en pastoreo en Tamaulipas. Folleto técnico. Disponible en:

<http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/948.pdf>.

Consultado en julio de 2023.

Jyoti., Kumar S.N., Singh H., Kumar S.N., Rath S.S. 2021. Genotyping amitraz resistance profiles in *Rhipicephalus microplus* Canestrini (Acari: Ixodidae) ticks from Punjab, India. *Ticks and Tick-borne Diseases*. 12(1):101-578.

Jonsson, N. N. 1997. Control de garrapatas del ganado (*Boophilus microplus*) en granjas lecheras de Queensland. *Revista Veterinaria Australiana*. 75(11): 802-807.

Kumar J., Manzer H. 2022. *In vitro* Detection of Acaricidal Resistance of Cattle Tick against Commercial Preparation of Deltamethrin and Cypermethrin in Three Villages of Udaipur District (Rajasthan). *Journal of Experimental Agriculture International*.44(12):91-98.

Leal, B., Thomas, D. B., Dearth, R. K. 2018. Population dynamics of off-host *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) larvae in response to habitat and seasonality in south Texas. *Veterinary sciences*. 5(2): 33.

Moreno L.S.A. 2023. Estado de la resistencia a ivermectina en *Rhipicephalus microplus* y factores asociados en el noroeste de México (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León. 76 p.

Muñoz C.L.D. 2022. Evaluación del efecto acaricida de *Plectranthus sp* mediante la prueba *in vitro* de paquete larval (LPT) para el control de *Rhipicephalus microplus* (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Querétaro. 45 p.

Norma Oficial Mexicana NOM-006-ZOO-1993. Requisitos de efectividad biológica para los ixodídeos de uso en bovinos y método de prueba. Diario Oficial de la Federación. México. D.F. Secretaría de Gobernación.

Pardo C.E., Buitrago M. 2005. Parasitología veterinaria I. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Ciencia Animal. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/2426/1/nl70p226p.pdf>.

Pérez-Cogollo L.C., Rodríguez-Vivas R.I., Ramírez-Cruz G.T., Miller R.J. 2010. First report of the cattle tick *Rhipicephalus microplus* resistant to ivermectin in Mexico. *National Library of Medicine*. 168(1-2), 165–169.

Pérez-Cogollo L.C., Rodríguez-Vivas R.I., Ramírez-Cruz G.T., Rosado-Aguilar J.A. 2010. Survey of *Rhipicephalus microplus* resistance to ivermectin at cattle farms with history of macrocyclic lactones use in Yucatan, Mexico. *National Library of Medicine*. 172(1-2), 109–113.

Polanco E.D.N., Ríos O.L.A. 2016. Aspectos biológicos y ecológicos de las garrapatas duras. *Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuaria, Mosquera Colombia*. 17(1):81-95.

- Quiroz R.H., Figueroa C.J.A., Ibarra V.F., López A.M.E. 2011. Epidemiología de enfermedades parasitarias en animales domésticos. 1ª edición. México D.F. 655 p.
- Reyes D.I.J., Arieta R.R.J., Fernández F.J.A., Romero F.M.Z., Peniche C.A.J.E. 2013. Resistencia de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* a ixodicidas en ranchos bovinos del municipio Evangelista, Veracruz, México. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 14(7):1-6.
- Rodríguez-Hidalgo R., Pérez O.X., Garcés C.S., Vanwambeke S.O., Madder M., Benítez O.W. 2017. Estado actual de la resistencia a alfa-cipermetrina, ivermectina y Amitraz de la garrapata del ganado (*Rhipicephalus microplus*) en Ecuador. *PLOS ONE*. 12(4):1-15.
- Rodríguez- Vivas R.I. 2018. Curso de capacitación para la inspección de ganado y control de la garrapata (*Boophilus spp.*) para la movilización nacional y exportación. Memorias de Registro CONCERVET. Piedras Negras, Coahuila, México. Del 19 al 21 de septiembre de 2018. Industria farmacéutica veterinaria (INFARVET). 1-76.
- Rodríguez-Vivas R.I., Rosado A.J.A., Ojeda C.M.M., Pérez C.C.L., Martínez I.T., Bolio G.M.E. 2014. Control integrado de garrapatas en la ganadería bovina. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 1(3):295-308.
- Rodríguez-Vivas R.I., Rodríguez-Arévalo F., Alonso-Díaz M.A., Fragoso-Sánchez H., Santamaría V.M., Rosario-Cruz R. 2006. Prevalence and potential risk factors for amitraz resistance in *Boophilus microplus* ticks in

cattle farms in the state of Yucatan, México. *Preventive Veterinary Medicine*. 75(3-4): 280-286.

Rodríguez-Vivas, R. I., Ojeda-Chi, M. M., Pérez-Cogollo, L. C., Rosado-Aguilar, J. A. 2011. Epidemiología y control de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en México. Capítulo 33. Epidemiología de enfermedades parasitarias en animales domésticos. 477-504.

Rodríguez- Vivas R.I., Rosado A.A., Basto E.G., García V.Z.S., Rosario C.R., Fragoso S.H. 2006. Manual técnico para el control de garrapatas en el ganado bovino. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Jiutepec, Morelos, México. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/268223833> Rodriguez VRI Rosado AA Basto EG Garcia VZ Rosario CR Fragoso SH 2006 Manual tecnico para el control de garrapatas en el ganado bovino IFAR VET-UADYSAGARPAINIFAP Publicacion tecnica 4 Octubre de 2006.

Rodríguez-Vivas, R. I., Quiñones, A. F., Fragoso, S. H. 2005. Epidemiología y control de la garrapata *Boophilus* en México. Enfermedades de importancia económica en producción animal. 571-592.

Sánchez G.K. 2014. Diagnóstico de la susceptibilidad de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* a ivermectinas en unidades de producción bovina de la zona centro de Veracruz, Ver. (Tesis de Licenciatura). Universidad Veracruzana. 51 p.

- Saporiti T., Losiewics, S., Trelles, A., Miraballes, C., Correa, F. R., Cuore U. 2021. Análisis del perfil de susceptibilidad de la garrapata *Rhipicephalus microplus* para cinco grupos químicos y factores asociados en poblaciones de campo del norte de Uruguay. *Veterinaria (Montevideo)*. 57(215):8-11.
- Saueressig T.M. 2007. Control racional de la parasitosis bovina con bajo impacto ambiental. XI Seminario de Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal. 26 p.
- Schleske M.I.C. 2011. Prevalencia de unidades de producción con garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* resistentes a amidinas y factores de riesgo asociados a su presentación en la región centro del estado de Veracruz (tesis de maestría) Universidad Veracruzana, Veracruz. 69 p.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2021. Panorama Nacional de Garrapata (*Boophilus* spp.). Disponible en: https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2021/abril/PANGarrapataBoophilus24-03-21_d14af967-d0cc-4935-a6ba-dce18add7836.pdf. Consultado en julio de 2023.
- Soberanes C.N., Rosario C.R., Santamaria V.M., García V.Z. 2005. Variabilidad en la actividad general de esterases de la garrapata *Boophilus microplus* y su relación con la resistencia a organofosforados. 43(2):239-24.
- Soberanes C.N., Santamaria V.M., Fragoso S.H., García V.Z. 2002. Primer caso de resistencia al Amitraz en la garrapata del ganado *Boophilus microplus* en México. *Técnica Pecuaria en México*. 40(1):81-92.

The Center for Food Security & Public Health. 2007. *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* Garrapata del ganado del sur, garrapata del ganado bovino. Collage of Veterinary Medicine Iowa State University Ames. Disponible en: https://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/es/boophilus_microplus-es.pdf. Consultado en julio de 2023.

Torrenes J., Sarli M., Sarmiento N., Rossner M.V., Morel N., Guglielmone A.A., Nava S. 2020. Resistencia de la garrapata del *ganado Rhipicephalus (Boophilus) microplus* a la ivermectina en Argentina. *Research in Veterinary Science*. 32:332-337.

Torres A.F., Chan-Pérez J., López A.M.E., Rosado A.J.A. 2015. CAPITULO: 12 Diagnóstico de resistencia a los antiparasitarios en rumiantes. En: Técnicas para el diagnóstico de parásitos con importancia en salud pública y veterinaria. 1ª Edición. AMPAVE-CONASA, México DF. 355-403 p.

Valdez-Espinoza U.M., Hernández O.R., Lagunes-Quintanilla., Castro S.E. 2021. Análisis de la susceptibilidad a los ixodíidas en hatos bovinos de una región del estado de Hidalgo, México. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*. 4(3):3642-3648.

Vargas-Cuy D.H., Torres-Caycedo., Pulido-Medellín. 2019. Anaplasmosis y babesiosis: estudio actual. *Revista Pensamiento y Acción*. (26): 45-60.

Vecino, J. A. C., Echeverri, J. A. B., Cárdenas, J. A., Herrera, L. A. P. 2010. Distribución de garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en

bovinos y fincas del Altiplano cundiboyacense (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 11(1): 73-84.

Villar D., Puerta J., López A., Chaparro J.J. 2016. Ivermectin resistance of three *Rhipicephalus microplus* populations using the larval immersion test. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 29: 51-57.

Weber G.C. 2021. Test de inmersión de larvas modificado en el perfil de sensibilidad de *Rhipicephalus microplus* a base de amitraz (Tesis de Doctorado). Universidad de la Republica de Montevideo, Montevideo, Uruguay. 33 p.

Yáñez C.C.M. 2013. Determinación de la Incidencia de Anaplasmosis y Babesiosis en el ganado bovino sometido a explotación en la parroquia Huigra, cantón Alausí, provincia de Chimborazo (Tesis de Licenciatura). Universidad Técnica de Ambato. 155 p.

Zúñiga T.C.I. 2021. Evaluación de resistencia a acaricidas en garrapatas *Rhipicephalus sanguineus* en Mexicali, Baja California (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México. 46 p.