



**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN
CAMPUS LOMA BONITA**

LICENCIATURA EN ZOOTECNIA

**RESISTENCIA DE *Rhipicephalus microplus* A
ORGANOFOSFORADOS, AMIDINAS Y PIRETROIDES EN
UNIDADES DE PRODUCCIÓN BOVINA DE LOMA
BONITA Y TUXTEPEC, OAXACA**

TESIS PROFESIONAL

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

PRESENTA

MIGUEL LEYVA PALACIOS

DIRECTOR DE TESIS

DR. CECILIO UBALDO AGUILAR MARTÍNEZ

LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO 2024



Universidad del Papaloapan

FECHA:	26 de Septiembre del 2024
ÁREA:	Vice-Rectoría Académica
OFICIO NÚMERO:	UNPA/VRA/322/2024
ASUNTO:	Autorización de Impresión de Tesis.

**C. MIGUEL LEYVA PALACIOS
P R E S E N T E:**

Con base al artículo 120 del reglamento de alumnos, por medio de la presente se aprueba la impresión de la tesis titulada **“Resistencia de *Rhipicephalus microplus* a organofosforados, aminidas y piretroides en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, 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




M.C HÉCTOR LÓPEZ ARJONA
Vicerrector Académico.

VICE-RECTORIA
ACADEMICA

C.c.p. Dra. Gladis Morales Terán.- Jefa de Carrera de 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 Uberriima, Mens Aperta

Licenciatura en Zootecnia

Oficio número JCLZ/129/2024

Asunto: Asignación de sinodales de examen profesional
Loma Bonita, Oaxaca a 23 de septiembre 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. Miguel Leyva Palacios**, quien defenderá su trabajo de tesis titulado **“Resistencia de *Rhipicephalus microplus* a organofosforados, amidinas y piretroides en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca”**, para obtener el título de **Licenciado en Zootecnia**.

Titulares:

Presidente: Dr. Miguel Ángel Sánchez Hernández
Secretario: Dr. Nicolás Valenzuela Jiménez
Vocal: Dr. Cecilio Ubaldo Martínez Aguilar

Suplentes:

Dr. Wilber Hernández Montiel
Dra. Amada Isabel Osorio Teran

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



Atentamente

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

Vo. Bo.

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



Universidad del Papaloapan

Licenciatura en zootecnia

LA PRESENTE TESIS TITULADA “RESISTENCIA DE *Rhipicephalus microplus* A ORGANOFOSFORADOS, AMIDINAS Y PIRETROIDES EN UNIDADES DE PRODUCCION BOVINA DE LOMA BONITA Y TUXTEPEC, OAXACA” PRESENTADA POR EL PASANTE MIGUEL LEYVA PALACIOS, BAJO LA DIRECCIÓN DEL DR. CECILIO UBALDO AGUILAR MARTÍNEZ, HA SIDO REVISADA Y ACEPTADA POR EL JURADO REVISOR, COMO UN REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN ZOOTECNIA.

JURADO EXAMINADOR

DR. CECILIO UBALDO AGUILAR MARTÍNEZ
DIRECTOR

DR. NICOLÁS VALENZUELA JIMÉNEZ
REVISOR

DR. MIGUEL ANGEL SÁNCHEZ HERNÁNDEZ
REVISOR

LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO, 2024

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad del Papaloapan por proporcionarme un ambiente propicio para el aprendizaje, donde la excelencia académica se valora y se fomenta. Sus recursos, las instalaciones y el compromiso con la educación han sido fundamentales para mi formación.

Quiero agradecer a mi director de tesis, Dr. Cecilio Ubaldo Aguilar Martínez, por su orientación y apoyo durante este proyecto. Su ayuda fue fundamental para mi éxito académico.

Aprecio la paciencia, la guía y la motivación brindados por los profesores de la Universidad del Papaloapan, quienes compartieron sus conocimientos conmigo. Cada uno de ellos ha desempeñado un papel esencial en mi formación y estoy agradecido por todo lo que aportaron en mi formación académica.

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

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
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. Las garrapatas y su impacto en la producción animal	5
4.1.1. Tipos de garrapatas	5
4.1.1.1. <i>Rhipicephalus microplus</i>	6
4.1.1.1.1. Distribución nacional	6
4.1.1.1.2. Daños directos	7
4.1.1.1.3. Daños indirectos	7
4.1.1.1.4. Ciclo biológico	8
4.1.1.1.4.1. Fase no parasitaria o de vida libre	8
4.1.1.1.4.2. Fase parasitaria	9
4.2. Métodos de control de la garrapata	10
4.2.1. Control no convencional	10
4.2.1.1. Vacunación	10
4.2.1.2. Uso de extractos de plantas	10

4.2.1.3. Hongos entomopatógenos.	11
4.2.1.4. Caldo sulfocálcico.	11
4.2.1.5. Manejo de praderas y pastizales.	11
4.2.1.6. Uso de depredadores naturales.	12
4.2.2. Control químico.	12
4.3. Resistencia de la garrapata <i>R. microplus</i> a ixodicidas	13
4.3.1. Causas de la resistencia.	14
4.3.2. Mecanismos de adquisición de la resistencia.	16
4.3.3. Estrategias del manejo de la resistencia.	18
5. MATERIALES Y MÉTODOS	20
5.1. Área de estudio.	20
5.2. Unidades de producción	20
5.3. Recolección e identificación de las garrapatas	21
5.4. Determinación de la resistencia de las garrapatas <i>Rhipicephalus microplus</i> mediante la prueba de inmersión de adultas	22
5.4.1. Bioensayos con la concentración recomendada.	22
5.4.2. Bioensayos con concentraciones múltiples.	24
5.5. Análisis de resultados	25
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
6.1. Determinación de la resistencia de la garrapata <i>R. microplus</i> mediante la prueba de inmersión de adultas	28
6.1.1. Bioensayos con la concentración recomendada.	28
6.1.1.1. Coumaphos.	28
6.1.1.2. Cipermetrina.	35

6.1.1.3. Amitraz.....	38
6.1.2. Bioensayos con concentraciones múltiples.	39
6.1.2.1. Coumaphos.....	39
6.1.2.2. Cipermetrina.....	44
6.1.2.3. Amitraz.....	49
6.2. Determinación de las concentraciones de coumaphos, cipermetrina y amitraz para la inhibición de la ovoposición e inhibición de la eclosión en diferentes subpoblaciones de garrapata <i>R. microplus</i>	54
6.2.1. Determinación de las concentraciones requeridas de coumaphos, cipermetrina y amitraz para lograr la inhibición de la ovoposición e inhibición de la eclosión en niveles del 50 %, 90 % y 99 %.	54
6.2.1.1. Inhibición de la ovoposición.....	55
6.2.1.2. Inhibición de la eclosión.	58
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
7.1. Conclusiones	62
7.2. Recomendaciones	62
8. LITERATURA CITADA	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Localización de las unidades de producción bovina que se incluyeron en el estudio.	20
Cuadro 2. Diferentes concentraciones de coumaphos y cipermetrina, utilizadas para medir la resistencia a ixodicidas de la garrapata <i>R. microplus</i> en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.....	24
Cuadro 3. Diferentes concentraciones de amitraz, utilizadas para medir la resistencia de la garrapata <i>R. microplus</i> en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.	25
Cuadro 4. Peso de garrapatas, peso de huevos, porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con coumaphos a concentración recomendada en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.	29
Cuadro 5. Peso de garrapatas, peso de huevos, porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con cipermetrina a concentración recomendada en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.	36
Cuadro 6. Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con coumaphos a concentraciones múltiples en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.....	40
Cuadro 7. Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con cipermetrina a concentraciones múltiples en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.....	45

Cuadro 8. Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con amitraz a concentración recomendada en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca..... 50

Cuadro 9. Concentraciones de coumaphos calculadas mediante el análisis probit para lograr la inhibición de la ovoposición en niveles de 50 %, 90 % y 99 % en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* ingurgitadas de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca..... 55

Cuadro 10. Concentraciones de cipermetrina calculadas mediante el análisis probit para lograr la inhibición de la ovoposición en niveles de 50 %, 90 % y 99 % en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* ingurgitadas de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca..... 56

Cuadro 11. Concentraciones de amitraz calculadas mediante el análisis probit para lograr la inhibición de la ovoposición en niveles de 50 %, 90 % y 99 % en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* ingurgitadas de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca..... 57

Cuadro 12. Concncraciones de coumaphos calculadas mediante el análisis probit para lograr la inhibición de la eclosión en niveles de 50 %, 90 % y 99 % en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* ingurgitadas de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca..... 59

Cuadro 13. Concentraciones de cipermetrina calculadas mediante el análisis probit para lograr la inhibición de la eclosión en niveles de 50 %, 90 % y 99 % en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* ingurgitadas de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca..... 60

Cuadro 14. Concentraciones de amitraz calculadas mediante el análisis probit para lograr la inhibición de la eclosión en niveles de 50 %, 90 % y 99 % en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* ingurgitadas de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca..... 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferencia en el peso promedio de la masa de huevos ovopositada por teleóginas pertenecientes al grupo testigo y hembras expuestas a la concentración recomendada de coumaphos, en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.	31
Figura 2. Diferencia en el peso promedio de la masa de huevos ovopositada por hembras de los grupos testigos y tratados con la concentración recomendada de cipermetrina, en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.	37
Figura 3. Porcentaje de ovoposición promedio de la garrapata <i>R. microplus</i> en diferentes concentraciones de coumaphos en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.	42
Figura 4. Porcentaje de eclosión promedio de la garrapata <i>R. microplus</i> en diferentes concentraciones de coumaphos en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.	43
Figura 5. Porcentaje de control promedio de la garrapata <i>R. microplus</i> en diferentes concentraciones de coumaphos en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.	44
Figura 6. Porcentaje de ovoposición promedio de la garrapata <i>R. microplus</i> con diferentes concentraciones de cipermetrina en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.	46
Figura 7. Porcentaje de eclosión promedio de la garrapata <i>R. microplus</i> con diferentes concentraciones de cipermetrina en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.	47
Figura 8. Porcentaje de ovoposición de la garrapata <i>R. microplus</i> con diferentes concentraciones de cipermetrina en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.	51

Figura 9. Porcentaje de eclosión de la garrapata *R. microplus* con diferentes concentraciones de cipermetrina en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca 52

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue caracterizar la resistencia de la garrapata *Rhipicephalus microplus* a organofosforados, amidinas y piretroides mediante la técnica de inmersión de adultas. El estudio se llevó a cabo en cinco unidades de producción bovina ubicadas en comunidades de los municipios de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca, México. De cada rancho, se obtuvieron 200 hembras adultas ingurgitadas. Las garrapatas fueron transportadas al laboratorio donde se midió la resistencia a ixodicidas en las modalidades de concentración recomendada y concentraciones múltiples, mediante la técnica de inmersión de adultas. En los bioensayos, dos unidades de producción (El Porvenir y 4 Vientos) fueron excluidas debido a que los huevos no eclosionaron en los periodos establecidos. En los tres ranchos restantes (La Gloria, La Esperanza y El Triunfo), los porcentajes de control donde se emplearon coumaphos y cipermetrina a concentración recomendada no superaron el 50 %. Los bioensayos a concentraciones múltiples, mostraron que, al utilizar cuatro veces la concentración recomendada, se obtuvieron porcentajes de control máximos de 78 %, 100 % y 83 % para coumaphos, cipermetrina y amitraz, respectivamente. El cálculo de la inhibición de la ovoposición (I.O.) e inhibición de la eclosión (I.E.) en niveles del 50 %, 90 % y 99 % mostró gran variabilidad en las concentraciones. Se concluye que, la resistencia a organofosforados, piretroides y amidinas está presente en las subpoblaciones de garrapatas de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca, observándose baja eficacia de la concentración recomendada y concentraciones múltiples utilizadas, así como multirresistencia en todos los casos que se analizaron.

Palabras clave: *Rhipicephalus microplus*, organofosforados, amidinas, piretroides.

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the resistance of the *Rhipicephalus microplus* tick to organophosphates, amidines, and pyrethroids using the adult immersion technique. The study was conducted in five cattle production units located in communities in the municipalities of Loma Bonita and Tuxtepec, Oaxaca, Mexico. At least 200 engorged adult females were obtained from each ranch. The ticks were transported to the laboratory, where resistance to acaricides was measured at recommended concentrations and multiple concentrations using the adult immersion technique. In the bioassays, two production units (El Porvenir and 4 Vientos) were excluded because the eggs did not hatch within the specified periods. In the remaining three ranches (La Gloria, La Esperanza, and El Triunfo), the control percentages using coumaphos and cypermethrin at the recommended concentration did not exceed 50%. Bioassays at multiple concentrations showed that, when using four times the recommended concentration, maximum control percentages of 78%, 100%, and 83% were achieved for coumaphos, cypermethrin, and amitraz, respectively. The calculation of oviposition inhibition (I.O) and hatching inhibition (O.E.) at levels of 50%, 90%, and 99% showed great variability in the concentrations. It is concluded that resistance to organophosphates, pyrethroids, and amidines is present in the tick subpopulations of Loma Bonita and Tuxtepec, Oaxaca, with low efficacy observed for the recommended and multiple concentrations used, as well as multiresistance in all cases that were analyzed.

Key words: *Rhipicephalus microplus*, organophosphates, amidines, pyretroids.

1. INTRODUCCIÓN

Las garrapatas son uno de los principales problemas que enfrenta la ganadería bovina en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2017). La garrapata *Rhipicephalus microplus* (*R. microplus*) es la principal especie que afecta a los bovinos en México. Las picaduras de esta garrapata interfieren con el bienestar animal, causan lesiones en la piel, provocan la disminución de parámetros productivos como la ganancia de peso y la producción de leche, además de generar anemia y tener un papel importante en la transmisión de *Babesia spp.* y *Anaplasma marginale* (Aguilar-Díaz *et al.*, 2018). El principal medio de control de las garrapatas ha sido el uso de productos químicos denominados ixodicidas. Los grupos de ixodicidas más utilizados son organofosforados, amidinas, piretroides, lactonas macrocíclicas, fenilpirazolonas e inhibidores del desarrollo (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006; Cuore *et al.*, 2017). A partir de 1950, la aplicación de los primeros ixodicidas mostraba una gran efectividad. Sin embargo, en los últimos años se ha observado que las garrapatas han desarrollado resistencia a estos (Aguilar, 2018), debido al manejo inadecuado de los productos comerciales por parte de los productores.

La resistencia a ixodicidas representa un gran problema en la producción animal debido a que son considerados recursos no renovables (FAO, 2004). Una vez que los ixodicidas dejan de ser efectivos, se requiere el desarrollo de nuevos fármacos, lo que implica investigación de alto costo y larga duración (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2014).

En México, los ixodicidas más utilizados en el control de las garrapatas son los organofosforados, piretroides y amidinas (Alonso-Diaz *et al.*, 2006; Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006). La resistencia a dichos fármacos se detectó desde la primera mitad de la década de 1980 (Aguilar, 2018). En 1981, se identificó por primera vez la resistencia a organofosforados en un rancho de Tuxpan, Veracruz (Aguirre *et al.*, 1986). A principios de la década de 1990, se tuvo conocimiento de los primeros casos de la aparición de garrapatas doblemente resistentes a organofosforados y piretroides en la región del Golfo de México y Chiapas (Santamaría, 1992; Ortiz *et al.*, 1995). En 2002, se reportó el primer caso de resistencia de las garrapatas a amidinas en un hato localizado en Tabasco, el cual mostró resistencia simultánea a organofosforados y piretroides (Soberanes *et al.*, 2002).

Los estudios de detección de resistencia de la garrapata se han focalizado en municipios cuya población ganadera es alta, sin tomar en cuenta aquellos con menor inventario ganadero, como los ubicados en la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca. Esta región presenta un clima tropical, con temperaturas y humedades relativas altas, que favorecen el desarrollo *R. microplus*. Aunque no existen estudios que lo confirmen, se sospecha que la garrapata ha desarrollado resistencia a los ixodicidas. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue caracterizar la resistencia de la garrapata *R. microplus* a organofosforados, amidinas y piretroides, mediante la técnica de inmersión de adultas, en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Caracterizar la resistencia de la garrapata *R. microplus* a diferentes concentraciones de organofosforados, amidinas y piretroides, mediante la técnica de inmersión de adultas, en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

2.2. Objetivos específicos

Conocer mediante la técnica de inmersión de adultas la eficiencia de la concentración recomendada por los laboratorios comerciales de coumaphos, cipermetrina y amitraz, para el control químico de la garrapata *R. microplus* en unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Establecer el efecto de concentraciones múltiples de coumaphos, cipermetrina y amitraz sobre los parámetros reproductivos de las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* incluidas en este estudio.

Identificar las concentraciones de coumaphos, cipermetrina y amitraz que causan en *R. microplus* la inhibición de la ovoposición (I.O. 50 %, I.O. 90 % e I.O. 99 %) e inhibición de la eclosión (I.E. 50 %, I.E. 90 % e I.E. 99 %).

3. HIPÓTESIS

En Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca, existen subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* que no ven afectados sus parámetros reproductivos como son: inhibición de la ovoposición y eclosión, lo que ocasiona resistencia individual o múltiple a las concentraciones del producto recomendadas por los laboratorios para organofosforados, piretroides y amidinas.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Las garrapatas y su impacto en la producción animal

Las garrapatas son artrópodos que taxonómicamente corresponden a la clase arácnida y se caracterizan por presentar un cuerpo dividido en cefalotórax y abdomen y en su etapa adulta poseen cuatro pares de patas (Mastro Paolo *et al.*, 2014). Las garrapatas se alimentan de la sangre de mamíferos, aves, reptiles y algunos anfibios y durante miles de años han desarrollado mecanismos de adaptación a la mayoría de las regiones terrestres del planeta (Castro y Wright, 2007). La acción hematófaga de las garrapatas es una de las principales causas de pérdidas económicas en las unidades de producción bovina. Asimismo, genera riesgos en la salud pública debido a que estos ectoparásitos funcionan como vectores de patógenos como *Babesia spp*, *Anaplasma marginale* y *Theileria parva* (de la Fuente *et al.*, 2008).

4.1.1. Tipos de garrapatas. De acuerdo con sus características morfológicas, las garrapatas se dividen en tres familias: la familia *Ixodidae* agrupa a las garrapatas duras que en su parte dorsal están protegidas por un escudo de quitina, la familia *Argasidae* incluye a las garrapatas blandas que no presentan un escudo duro y la familia *Nuttalliella*, que posee características intermedias de las dos familias anteriores (Barker y Murrell, 2004). De las tres familias mencionadas, la familia *Ixodidae* se considera la más importante debido a sus repercusiones en la producción animal de las zonas tropicales de México.

La familia *Ixodidae* comprende 14 géneros y 702 especies de garrapatas duras. A pesar de su gran diversidad, las especies más importantes desde el punto de

vista económico se reducen a *Amblyomma cajennense* y *R. microplus* (Guglielmone *et al.*, 2010).

4.1.1.1. *Rhipicephalus microplus*. Las garrapatas de este género son consideradas como el principal ectoparásito de los bovinos, ya que afectan al 80 % de la población asentada en las zonas tropicales y subtropicales de México y el mundo (Guglielmone *et al.*, 2006).

Debido a su impacto en la producción pecuaria nacional, la garrapata *R. microplus* es objeto de una campaña nacional que busca su control y erradicación (DOF, 2012). A continuación se describirán algunas de sus características distintivas.

4.1.1.1.1. Distribución nacional. Las garrapatas del género *Rhipicephalus* se encuentran en la mayoría de los nichos terrestres donde hay ganado bovino, especialmente en las zonas tropicales y subtropicales de México, Centroamérica, Sudamérica y Australia (Guglielmone *et al.*, 2006).

R. microplus tiene una amplia distribución en México. Las zonas libres de este ectoparásito corresponden al 30.6 % del territorio nacional y son Baja California, la parte norte de Baja California Sur, Sonora, la mayor parte de Chihuahua, Aguascalientes y Tlaxcala (SENASICA, 2023). En el territorio restante (69.4 %), hay presencia de *R. microplus* con mayor predominancia en zonas tropicales y subtropicales que se ubican en las regiones del Golfo de México, península de Yucatán y la mayor parte de la zona costera del Océano Pacífico (Alonso-Díaz y Fernández, 2022).

4.1.1.1.2. Daños directos. Los principales daños directos ocasionados por la garrapata *R. microplus* están asociados a sus hábitos hematófagos, que provocan una acción traumática, tóxica y expoliadora en el hospedero (Gallardo y Morales, 1999). Las principales manifestaciones en los animales infestados son la reducción del bienestar animal, estrés permanente relacionado con una baja de la actividad del sistema inmune, pérdida de energía por movimientos constantes provocados por las garrapatas, descenso de los parámetros reproductivos, reducción de la producción de carne y leche, lesiones cutáneas causadas por mordeduras, anemia y respuestas tóxicas y alérgicas ocasionadas por la inoculación de toxinas y antígenos coagulantes que se encuentran en la saliva del parásito, entre otras (Jonsson *et al.*, 2001; Sonenshine *et al.*, 2002; Estrada-Peña y Venzal, 2007; Betancur y Giraldo-Ríos, 2018).

4.1.1.1.3. Daños indirectos. El principal daño indirecto ocasionado por las garrapatas *R. microplus* está asociado a su papel como vector de enfermedades que afectan a los glóbulos rojos como *Babesia bovis*, *Babesia bigemina*, *Anaplasma marginale* y *Theileria parva* (Sonenshine *et al.*, 2002). Tales enfermedades provocan una disminución de la condición física de los animales y, por consecuencia, de sus parámetros productivos y reproductivos (Palacios-Bautista *et al.*, 2013).

Otros daños indirectos están representados con el costo de tratamientos de animales enfermos, la reducción de la producción de los mismos, el costo de los programas de control de las garrapatas y por restricciones en la movilización y

comercialización de animales parasitados (DOF, 2012; Betancur y Giraldo-Ríos, 2018).

4.1.1.1.4. Ciclo biológico. El ciclo biológico de la garrapata *R. microplus* se divide en la fase no parasitaria o de vida libre y en la fase parasitaria (Cetrá, 2001).

4.1.1.1.4.1. Fase no parasitaria o de vida libre.

Comienza con el periodo de **preoviposición**, que es el tiempo que transcurre desde que las hembras ingurgitadas se desprenden de su hospedero para iniciar la ovoposición. Bajo condiciones favorables de temperatura (28-30 °C) y humedad (80-90 %), este periodo dura entre 2 a 4 días. Sin embargo, puede extenderse hasta 97 días en las estaciones frías, como el otoño o invierno (Alonso y Fernández, 2022).

El periodo de **ovoposición** abarca desde que la garrapata ingurgitada comienza la postura de huevos hasta que termina. Esta etapa dura de cuatro a 60 días, la cual depende de las condiciones ambientales y las garrapatas ovopositan en promedio 3,000 huevos (Alonso y Fernández, 2022).

El periodo de **incubación** inicia al terminar la ovoposición y termina cuando comienzan a nacer las larvas. Bajo condiciones idóneas puede durar de 20 a 45 días, aunque varía debido a que está directamente influenciado por las condiciones ambientales (Gallardo y Morales, 1999).

La etapa de **eclosión** ocurre cuando las larvas salen del huevo. Bajo condiciones favorables de temperatura y humedad, dura normalmente entre 14 y 60 días. Si

el ambiente es óptimo, el porcentaje de eclosión podría ser superior al 80 por ciento (Alonso y Fernández, 2022).

4.1.1.1.4.2. Fase parasitaria. Esta fase se desarrolla sobre su hospedador y en condiciones óptimas tiene una duración de 21 a 25 días (Alonso-Díaz y Fernández, 2022).

Después de la eclosión, las larvas pueden durar hasta seis meses sin alimentarse. Durante las primeras 24 horas después de haber subido a su hospedero, las larvas se alimentan de líquidos tisulares hasta llenarse y posteriormente mudan su exoesqueleto y se transforman en ninfas (Alonso-Díaz y Fernández, 2022). Las ninfas se alimentan hasta llenarse completamente y realizan una segunda muda, transformándose en garrapatas adultas (Nava *et al.*, 2013).

Las garrapatas adultas sufren una diferenciación sexual aproximadamente el día 16 después de haber parasitado a su hospedero y empiezan a copular. Al ser fecundadas las hembras, inicia la producción masiva de huevos en su interior, lo cual incrementa su tamaño. Aproximadamente 24 horas antes de desprenderse de su huésped, las garrapatas hembra aumentan su consumo de sangre hasta quedar completamente llenas. Posteriormente, se desprenden y ovopositan en la materia orgánica presente en el suelo (Nava *et al.*, 2013).

4.2. Métodos de control de la garrapata

Los métodos de control de la garrapata *R. microplus* consisten principalmente en la aplicación de productos químicos llamados ixodicidas. No obstante, debido al avance de la resistencia de las garrapatas ante los ixodicidas, se han utilizado métodos de control alternos que muestran menos toxicidad e impacto en el ambiente (Almazán *et al.*, 2016).

4.2.1. Control no convencional. La resistencia de las garrapatas a los ixodicidas ha provocado el desarrollo de alternativas de control que no dependan de químicos. En su lugar, se ha optado por utilizar métodos biológicos o de manejo de praderas y pastizales (Almazán *et al.*, 2016). A continuación, se describen los principales métodos alternativos de control de la garrapata:

4.2.1.1. Vacunación. La vacuna utilizada se basa en la inoculación de los antígenos Bm86 Bm95, presentes en el intestino y ovario de las garrapatas. Estos antígenos generan una respuesta inmune de los animales vacunados, que incluye la producción de anticuerpos. Cuando la garrapata se alimenta de la sangre de un animal vacunado, los anticuerpos inducen una destrucción de las células intestinales y la reducción de la vida del artrópodo. Asimismo, la vacuna evita la acción hematófaga y la garrapata reduce su peso y disminuye la fertilidad (de la Fuente, 2000).

4.2.1.2. Uso de extractos de plantas. Los extractos de plantas funcionan como acaricidas naturales, ya que contienen ingredientes activos biodegradables como flavonoides, alcaloides y triterpenos que son de baja toxicidad y de lento desarrollo de resistencia (Morales y García, 2000; Broglio-

Micheletti *et al.*, 2009). Los ixodicidas de origen vegetal tienen acción repelente, disminuyen la capacidad de las garrapatas de alimentarse y ovopositar y funcionan como reguladores del crecimiento (Coats, 1994).

Las plantas de la familia *Meliaceae* se han utilizado para el control de garrapatas de la familia *Ixodidae*. Hasta el momento, el Neem (*Azadirachta indica*) es la especie vegetal más estudiada y se ha demostrado que posee un ingrediente activo (Azadiractina) con propiedades pesticidas con un bajo efecto residual (Aguiar-Menezes, 2005).

4.2.1.3. Hongos entomopatógenos. Los hongos son agentes biológicos que tienen la facultad de afectar los estadios de vida libre de las garrapatas (Fernandes *et al.*, 2012). La especie más utilizada para el control de *R. microplus* es *Metarhizium anisopliae*. En México las cepas Ma334 y Mal4 han demostrado eficacia para el control de *R. microplus*, tanto en la fase de vida libre como en la parasitaria (Alonso-Díaz *et al.*, 2007).

4.2.1.4. Caldo sulfocálcico. Es un caldo mineral a base de azufre, cal viva y bicarbonato de sodio, que es usado como fungicida. La aplicación de 250 mL de caldo sulfocálcico por cada 20 L de agua es suficiente para bañar cinco animales es una alternativa económica para el control de la garrapata *R. microplus* y evita la contaminación ambiental (Rivera *et al.*, 2014).

4.2.1.5. Manejo de praderas y pastizales. Consiste en adaptar ciertas condiciones de manejo con el fin de interferir con el ciclo biológico de la garrapata. Una de las acciones más utilizadas consiste en el pastoreo rotacional, con periodos de ocupación y descanso alternos. De esta manera, la fase de vida

libre de las garrapatas se alarga y existe la posibilidad de que las larvas mueran de hambre antes de que encuentren un huésped. Se ha observado que para que el número de larvas en la pradera disminuya de manera significativa, se requiere un periodo de descanso de entre 45 y 60 días (Furlong, 1998). En una investigación realizada en Argentina por Douthia (2020), se realizó un control estratégico de la garrapata *R. microplus* combinando la rotación de potreros y el control químico. Otras prácticas que se han utilizado consisten en quemar o inundar de manera premeditada los pastizales. Con ello, se reduce de manera drástica la población de garrapatas en fase libre.

4.2.1.6. Uso de depredadores naturales. Es un tipo de control biológico que consiste en la introducción de animales que depredan a las garrapatas. En México y América latina, existen aves silvestres como las garzas garrapateras que se consideran depredadores naturales de las garrapatas. En los últimos años, se ha promovido la introducción de gallinas a los pastizales, con el fin de que consuman a las garrapatas en su fase de vida libre o cuando se desprenden para ovopositar. Otra estrategia consiste en utilizar especies de hormigas que ingieren grandes cantidades de larvas (Alonso y Fernández, 2022.).

4.2.2. Control químico. El principal método de control utilizado contra las garrapatas se basa en el uso de ixodicidas. Estos compuestos químicos permiten reducir las poblaciones de ectoparásitos en el bovino. Los ixodicidas tienen diferentes formas de administración, las cuales dependen de su presentación comercial. Hay productos que se pueden administrar por aspersion, inmersión,

derrame dorsal, aplicación tópica o son inyectables (Cortés-Vecino y Jesús, 2018).

A lo largo del tiempo se han utilizado diferentes familias de acaricidas. Sin embargo, los grupos químicos más usados son los organofosforados carbamatos, los piretroides y las amidinas. De manera general, el mecanismo de acción de los grupos químicos antes mencionados consiste en la interferencia en la unión neuromuscular, que provoca en los artrópodos una parálisis por inhibición de la enzima acetilcolinesterasa o una parálisis hiperpolarizante que culmina con la muerte (Avellaneda-Bustos *et al.*, 2020).

Otros ixodicidas sintéticos más modernos son las fenilpirazolonas, los inhibidores del desarrollo y los endectocidas. Todos los grupos tienen un mecanismo de acción distintivo y también afectan la función neuromuscular (Avellaneda-Bustos *et al.*, 2020).

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

En México, a mediados del siglo XX, los principales químicos utilizados para el control de la garrapata *R. microplus* eran los organofosforados (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2012). Durante muchas décadas se utilizaron con mucha eficiencia junto con otros químicos ya desaparecidos, como los organoclorados. Sin embargo, en 1981 se registró por primera vez en la región de Tuxpan, Veracruz, la resistencia de subpoblaciones de garrapatas a este ixodicida debido al uso inadecuado de los productos comerciales (Aguirre *et al.*, 1986).

Lo anteriormente expuesto, ocasionó que en 1986 se aprobara el uso y comercialización de nuevos ixodicidas como las amidinas y piretroides. A partir de ese año, los piretroides fueron los más usados para el control de las garrapatas debido a su efectividad, residualidad y estabilidad durante los baños. En 1993, se registraron los primeros casos de resistencia a piretroides en Tabasco, San Luis Potosí, Veracruz y Chiapas (Ortiz *et al.*, 1995).

Después de que se observara resistencia a organofosforados y piretroides, el uso de las amidinas comenzó a expandirse en todo el país; sin embargo, a principios de 2001, en Tabasco se detectó por primera vez una falta de eficacia de este nuevo ixodicida (Soberanes *et al.*, 2002). A partir de este punto, surgió un problema de mayor magnitud en cuanto a la falta de respuesta a esos químicos, ya que las garrapatas empezaron a mostrar resistencia simultánea a más de un ixodicida. En la actualidad, la baja eficacia a organofosforados, amidinas y piretroides está extendida por casi todo el territorio nacional (Rosario-Cruz *et al.*, 2009).

4.3.1. Causas de la resistencia. La resistencia de la garrapata *R. microplus* es el aumento de las poblaciones de garrapatas con una tolerancia mayor a las concentraciones de productos químicos que normalmente deberían resultar mortales para las mismas; la resistencia se asocia al uso constante y extensivo de los productos de control químico y, debido a esto, ha disminuido a nivel mundial la efectividad de los principales acaricidas (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2012).

Según Fragoso y Soberanes (2001), algunas de las principales fallas en el manejo de los productos utilizados en el control químico de las garrapatas son:

- Preparación inadecuada de la solución. Es necesario verificar el pH de la solución. Así, las amidinas son más efectivas a un pH alcalino (mayor que 9), mientras que los organofosforados y piretroides funcionan mejor en un pH ácido (entre 4 y 6; Carmona, 2006).
- No realizar el baño de aspersion de manera adecuada. En muchas ocasiones, los ganaderos utilizan una sola bomba aspersora manual de 20 L de mezcla garrapaticida para bañar a varios bovinos por cada carga, lo que da como resultado que no se mojen correctamente y que su baño sea parcial. Se recomienda que por cada bomba se bañen como máximo ocho animales jóvenes o cinco animales adultos (Alonso-Díaz y Fernández, 2022).
- Falta de rotación de garrapaticidas y aplicación indiscriminada de los garrapaticidas. Ocasionalmente ocasionan la aparición de cepas de garrapatas resistentes. Por ello, se recomienda llevar a cabo la rotación de grupos químicos, lo que implica utilizar diferentes mecanismos de acción, para reducir con ello la aparición de resistencia.
- Mala dosificación al momento de la aplicación de los garrapaticidas. Se presentan casos en donde los ganaderos miden los productos químicos por latas, tapas, chorros o se guían mediante el cambio de color con el agua, que en la mayoría de los casos ocasiona una dosificación muy baja o muy alta. Se recomienda medir la cantidad de producto químico con una jeringa. Con ello, se eliminan los errores de dosificación.

- Uso de mezclas caseras con distintos productos no autorizados y/o de uso agrícola. Es común que algunos productores combinen los garrapaticidas con otros productos como jabón, pinol, vinagre, gasolina, entre otros, con la creencia de tener un mejor control en las poblaciones de garrapatas. Sin embargo, las combinaciones de químicos interfieren con la efectividad de los ixodicidas.

4.3.2. Mecanismos de adquisición de la resistencia. La resistencia de la garrapata a los ixodicidas se debe a una condición genética que se presenta en una pequeña población de garrapatas con capacidad de adaptación al ambiente tóxico, mediante un proceso de selección natural (Rosario-Cruz *et al.*, 2009). La aparición de la resistencia a los productos químicos depende de constantes ajustes que incluyen factores como variabilidad genética adquirida por mutaciones al azar o adaptaciones genéticas (Miller *et al.*, 2007).

Una modalidad de desarrollo de resistencia consiste en la presencia de alelos múltiples de resistencia en los individuos de una población. Previo a que los artrópodos entren en contacto con los químicos, existe en la población una pequeña cantidad de individuos con alelos que confieren resistencia a los principios activos (Domínguez-García *et al.*, 2010).

Cuando el químico es aplicado, los alelos de resistencia proporcionarán una mayor ventaja adaptativa a los individuos portadores, mientras que las garrapatas sin alelos de resistencia serán susceptibles a los químicos y morirán. Por lo tanto, los individuos resistentes sobrevivirán y podrán reproducirse para dar una nueva generación de garrapatas resistentes al producto (Domínguez-García *et al.*,

2010; Almazán *et al.*, 2016). Así, el fenómeno de la resistencia a ixodicidas es una “recreación” de la selección natural, debido al estrés constante al que se somete a estos artrópodos a causa del uso repetido de pesticidas (Palumbi, 2001; Ffrench-Constant *et al.*, 2004).

Otra modalidad de desarrollo de la resistencia a los ixodicidas consiste en presionar a las poblaciones de garrapatas con concentraciones tóxicas de ixodicidas que las obliguen a evolucionar. La resistencia ocurrirá cuando se desarrollen mutaciones en el genoma de los individuos. La mayor parte de las mutaciones son dañinas, por lo que los portadores generalmente terminan muriendo. Sin embargo, de manera eventual, alguna mutación les conferirá a los individuos la habilidad de sobrevivir a los efectos tóxicos de los ixodicidas (Almazán *et al.*, 2016).

Aunque la resistencia está soportada por cambios en el material genéticos de las garrapatas, esos cambios se pueden expresar de dos maneras diferentes. Primero, el cambio genético puede provocar una inestabilidad del sitio de destino. Con ello, las moléculas en las que se une el ixodicida sufren cambios conformacionales que impiden la acción del principio activo. Segundo, el cambio genético permite que el organismo de los individuos desarrolle mecanismos de detoxificación metabólica, promoviendo una degradación más rápida de la sustancia activa. Ambos mecanismos pueden actuar solos o combinados, lo que da como resultado la resistencia a uno o varios grupos químicos (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2012).

De acuerdo con Fragoso y Soberanes (2001), el desarrollo de la resistencia se compone de tres fases:

- 1) **Fase de establecimiento.** Aparece un alelo de resistencia en una población.
- 2) **Fase de desarrollo.** Hay un aumento de individuos resistentes debido a su sobrevivencia después de haber estado expuestos a productos químicos.
- 3) **Fase de emergencia.** Es ocasionada por una elevada presión de selección. Esta fase es corta y el alelo de resistencia es muy común en la población, por lo que hay una reducción drástica en la efectividad del ixodocida.

4.3.3. Estrategias del manejo de la resistencia. El manejo inadecuado de los ixodocidas es el responsable del 80 % de los casos de resistencia en la garrapata (SENASICA, 2020). A raíz del avance constante de la resistencia, se han diseñado programas de control integrado. Estos programas consisten en prácticas de manejo que además del uso de ixodocidas, contemplan actividades no convencionales como el control de la población de garrapatas en los pastizales, uso de control biológico, aplicación de vacunas, entre otras (Rosario-Cruz *et al.*, 2009).

Cuando se ha demostrado que una subpoblación de garrapatas muestra resistencia a grupos específicos de ixodocidas, es necesario aplicar medidas para retrasar o evitar el desarrollo de la misma a los grupos restantes (Velazco, 2021). De acuerdo con Castellanos (2018), existen tres medidas que se utilizan para manejar la resistencia en las subpoblaciones de garrapatas:

- 1) **Manejo por moderación.** Consiste en utilizar concentraciones bajas y aplicaciones no frecuentes, usar ixodocidas poco persistentes y conservar

refugios de genes susceptibles. El tipo de manejo busca tener actividades no destructivas y privilegia el uso de agentes de control biológico.

- 2) **Manejo por saturación.** Se procura saturar las defensas de las garrapatas mediante la aplicación de concentraciones altas que sobrepasen el umbral de resistencia y causen mortalidad. Este manejo es adecuado cuando aún existen pocos genes de resistencia.
- 3) **Manejo por ataque múltiple.** Se refiere al control de los artrópodos mediante la acción independiente de varios ixodicidas. Se enfoca en la rotación de ixodicidas y aplicación de químicos en mezcla.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en cinco unidades de producción bovina ubicadas en los municipios de Loma Bonita y San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca. El clima que predomina en la región es el *Am* (cálido húmedo con abundantes lluvias en verano; García, 2004). Las temperaturas mínimas, medias y máximas son de 18 °C, 25 °C y 50 °C, respectivamente. La humedad relativa promedio es de 76 % (Robles, 2019) y la precipitación pluvial oscila entre los 2,000 y 4,500 mm anuales.

5.2. Unidades de producción

Las cinco unidades de producción bovina que se incluyeron en el estudio se ubican en comunidades de Loma Bonita y San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca. Sus coordenadas geográficas se encuentran especificadas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Localización de las unidades de producción bovina que se incluyeron en el estudio.

Localidad	Municipio	Coordenadas*
El Paraíso Zacatal	Loma Bonita	17° 56' 23" N; 95° 53' 31" O
El Mirador	Loma Bonita	17° 55' 52" N; 95° 49' 46" O
El Triunfo	Loma Bonita	18° 02' 10" N; 95° 51' 42" O
El Porvenir	San Juan Bautista Tuxtepec	18° 09' 50" N; 96° 13' 54" O
Arroyo Limón	San Juan Bautista Tuxtepec	17° 54' 01" N; 95° 57' 40" O

*Las coordenadas se obtuvieron durante la recolección de muestras, mediante Google Maps.

Los criterios para incluir las unidades de producción fueron: que contara con un número superior a 30 animales, que los animales tuvieran más de 20 días de

haber recibido tratamiento con ixodicidas, la presencia de garrapatas hembras ingurgitadas de un tamaño mayor a 8 mm (NOM-006-ZOO-1993) y la evidencia de resistencia expresada por los dueños o encargados.

5.3. Recolección e identificación de las garrapatas

Una vez determinadas las unidades de producción de ganado bovino que se incluyeron en el presente estudio, se realizó una inspección visual con el objetivo de corroborar la presencia de una cantidad suficiente de garrapatas hembra ingurgitadas para completar la muestra. Las muestras fueron colectadas entre septiembre y diciembre de 2022.

La recolección de muestras se llevó a cabo de acuerdo con los lineamientos recomendados por la FAO (2004). De cada unidad productiva, del mayor número posible de bovinos se obtuvieron 200 hembras adultas ingurgitadas. Las garrapatas obtenidas se almacenaron en recipientes limpios, con orificios de ventilación y una cámara húmeda elaborada con una gasa humedecida. Las muestras fueron transportadas en una hielera de unicel hasta el Laboratorio de Sanidad Animal y Microbiología, ubicado en la Universidad del Papaloapan, *campus* Loma Bonita. Inicialmente, se realizó la identificación de la especie mediante un microscopio estereoscópico (Luzeren®, modelo PRO1001349), a un nivel de resolución de 2x. Posteriormente, 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.

5.4. Determinación de la resistencia de las garrapatas *Rhipicephalus microplus* mediante la prueba de inmersión de adultas

Para llevar a cabo la determinación de resistencia con la concentración recomendada y diferentes concentraciones, se utilizaron productos comerciales correspondientes a tres principios activos de ixodicidas: coumaphos (Asuntol® líquido al 20 %, Bayer, México), cipermetrina (Alfadex® CE 21.29, Elanco, México) y amitraz (Tactic®, MSD Salud Animal, México).

5.4.1. Bioensayos con la concentración recomendada. El objetivo de la prueba de inmersión de adultas fue determinar el porcentaje de control sobre garrapatas hembras repletas que ofrece un producto comercial a la concentración recomendada por el laboratorio. La técnica que se realizó fue la prueba clásica de inmersión de adultas desarrollada por Drummond *et al.* (1973). Todas las garrapatas ingurgitadas que no ovopositaron durante el transporte o almacenamiento, fueron evaluadas.

Para probar la concentración recomendada de cada uno de los compuestos comerciales, se formaron dos conjuntos de 10 garrapatas, que se asignaron al azar los grupos testigo y tratado. Los grupos de garrapatas fueron pesados en una balanza analítica (Ohaus®, modelo Pioneer PX84) y se registraron los pesos en gramos. Posteriormente, las garrapatas se colocaron en cajas de Petri de plástico de 10 cm de diámetro.

Las garrapatas de los grupos tratados fueron expuestas a la concentración recomendada por el laboratorio de los productos comerciales probados en este estudio. Para ello, fueron sumergidas durante un minuto en 25 mL de la mezcla del ixodicida, en un vaso de precipitado con capacidad de 250 mL. Transcurrido el tiempo, se vaciaron los vasos de precipitado y se recolectaron las garrapatas con ayuda de una coladera. Posteriormente, las garrapatas fueron secadas con toallas de papel y se alojaron en cajas de Petri previamente identificadas. El mismo procedimiento se realizó en los grupos testigo, los cuales no fueron expuestos a los ixodicidas, ya que se sumergieron solo en agua destilada.

Cada uno de los grupos se colocó en una estufa (Ecoshel®, modelo 91210) a 28 °C y 80 % de humedad relativa durante catorce días. Cumplido el plazo, se evaluó la capacidad de la concentración recomendada para inhibir la ovoposición en las garrapatas tratadas. Se retiraron los huevos ovopositados, se pesaron en la balanza analítica y se registraron los pesos en gramos.

Para determinar el efecto de la concentración de ixodicida recomendada por el fabricante o laboratorio que lo comercializa (indicado en el cuadro 2) sobre la eclosión, los huevos fueron colocados en un tubo de ensayo con capacidad de 14 mL, se taparon con una torunda de algodón y se incubaron durante 25 días, con las condiciones de temperatura y humedad mencionadas anteriormente. Transcurridos 25 días, las larvas resultantes se congelaron y con ayuda de un pincel del número 4, se tomaron cinco alícuotas de cada tubo para determinar el porcentaje de eclosión, contando los huevos que no eclosionaron y las larvas

emergidas. Para ello, se utilizó un microscopio estereoscópico y cajas Petri cuadrículadas.

5.4.2. Bioensayos con concentraciones múltiples. Se utilizaron para determinar la capacidad de ovoposición y el porcentaje de eclosión de los huevos. La respuesta de las garrapatas repletas a diferentes concentraciones de ixodicidas, se utilizó para establecer una línea de regresión que permitió establecer la concentración de inhibición de la ovoposición (CIO) y concentración de inhibición de la eclosión (CIE) al 50 %, 90 % y 95 %.

Para probar la eficacia del coumaphos y la cipermetrina a concentraciones múltiples, se formaron cinco grupos de 10 garrapatas adultas repletas. En el Cuadro 2, pueden observarse las concentraciones utilizadas para cada principio activo.

Cuadro 2. Diferentes concentraciones de coumaphos y cipermetrina, utilizadas para medir la resistencia a ixodicidas de la garrapata *R. microplus* en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Grupo*	Concentración en porcentaje del volumen final		Volumen final (mL)
	Coumaphos	Cipermetrina	
Testigo	0.0	0.000	25
0.5X	0.1	0.025	25
1.0X	0.2	0.050	25
2.0X	0.4	0.100	25
4.0X	0.8	0.200	25

* Indica el número de veces de la concentración con respecto a la concentración recomendada por el fabricante (1.0X).

En el caso del amitraz, las concentraciones que se probaron se determinaron siguiendo las recomendaciones de la FAO (2004), ya que se ha observado que

las concentraciones de este principio activo no guardan una relación logarítmica, por lo que una mayor concentración no es igual a un porcentaje de mortalidad mayor. Las concentraciones de amitraz utilizadas se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Diferentes concentraciones de amitraz, utilizadas para medir la resistencia de la garrapata *R. microplus* en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Grupo	Concentración en porcentaje del volumen final	Volumen final (mL)
Testigo	0.0000	25
0.0125 %	0.0125	25
0.0500 %	0.0500	25
0.2000 %	0.2000	25

Para probar cada una de las concentraciones, se realizó el mismo procedimiento descrito en el subapartado 5.4.1.

5.5. Análisis de resultados

Se utilizaron los datos del peso de las garrapatas de cada grupo y el peso de los huevos ovopositados para calcular el porcentaje de inhibición de la ovoposición (% I.O.) mediante la fórmula propuesta por Drummond y Whetstone (1970):

$$\% I. O. = \frac{\text{Peso de huevos grupo testigo (g)} - \text{Peso de huevos grupo tratado (g)}}{\text{Peso de huevos del grupo testigo (g)}} \times 100$$

Para calcular el porcentaje de eclosión (% E.), se realizó el conteo de las cinco alícuotas por grupo. Se realizó el conteo de los cascarones rotos y huevos y se calculó el promedio de eclosión para cada grupo, por medio de la siguiente fórmula:

$$\% E = \frac{\text{Cascares rotos}}{\text{Cascares rotos} + \text{huevos}} \times 100$$

Para determinar el porcentaje de control, se calculó la reproducción estimada (RE) por grupo, mediante la fórmula propuesta por Drummond *et al.* (1973):

$$RE = \frac{\text{Peso de huevos (g)}}{\text{Número de hembras por grupo}} \times 20,000 \times \text{Porcentaje de eclosión}$$

Una vez que se calculó la RE por grupo, se estimó el porcentaje de control (% C) mediante la siguiente fórmula:

$$\% C = \frac{RET - REt}{RET} \times 100$$

Donde:

RET= Reproducción estimada en el grupo testigo.

REt= Reproducción estimada en el grupo tratado.

En la prueba de inmersión en concentraciones múltiples, para determinar la concentración de la inhibición de la CIO y CIE 50 %, 90 % y 99 %, se emplearon los datos de las concentraciones utilizadas, número de garrapatas por grupo y los distintos porcentajes de respuesta obtenidos en el bioensayo. Una vez

determinados los porcentajes de eclosión por concentración, se calculó la reproducción estimada, y al final los porcentajes de control. Con todos estos resultados se realizó un análisis probit, para establecer la tendencia de la respuesta se realizaron los cálculos de las CIO y la CIE 50 %, 90 % y 99 %. Para ello, se utilizó el programa estadístico Polo-Plus (LeOra, 2004).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Determinación de la resistencia de la garrapata *R. microplus* mediante la prueba de inmersión de adultas

La prueba de inmersión de adultas es una de las tres pruebas que se realizan para el diagnóstico de la resistencia de garrapatas a ixodicidas. Aunque permite determinar la respuesta poblacional a los ixodicidas, es una prueba que requiere varias semanas y muchos individuos para la obtención de resultados (Alonso-Díaz *et al.*, 2006).

6.1.1. Bioensayos con la concentración recomendada. Estos bioensayos son importantes porque permiten determinar qué tan eficientes son los ixodicidas en una subpoblación de garrapatas con la concentración recomendada por los laboratorios que elaboran los productos comerciales.

El efecto de los ixodicidas en las garrapatas adultas se mide mediante la evaluación de parámetros reproductivos como el peso de las hembras utilizadas en los bioensayos, el peso de los huevos ovopositados, los porcentajes de ovoposición y eclosión, la reproducción estimada y el porcentaje de control.

6.1.1.1. Coumaphos. Dentro de los organofosforados, el coumaphos es el principio activo más utilizado en México. En el Cuadro 4 se observa el efecto del coumaphos sobre algunas variables reproductivas de la garrapata *R. microplus*.

Cuadro 4. Peso de garrapatas, peso de huevos, porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con coumaphos a concentración recomendada en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Rancho	Grupo	n	Peso garrapatas (g)	Peso huevos (g)	Ovoposición (%)	Eclosión (%)	Reproducción estimada	Porcentaje de control
El Porvenir	Testigo	10	3.11	1.23	100	0	0	0
	CR*	10	2.52	0.18	38.8	0	0	0
La Gloria	Testigo	10	2.62	1.48	100	90	264,571	0
	CR*	10	2.60	0.83	54.4	84	139,786	47
4 vientos	Testigo	10	3.64	1.21	100	0	0	0
	CR*	10	4.55	0.00	0	0	0	0
La Esmeralda	Testigo	10	2.72	1.21	100	66	160,006	0
	CR*	10	2.49	0.43	37.3	95	81,590	49
El Triunfo	Testigo	10	1.66	0.97	100	97	186,553	0
	CR*	10	1.59	0.53	33.4	89	93,731	50
Promedio		10	2.75	0.81	66.4	52.1	92,623.7	14.6

* CR= concentración recomendada por el fabricante del producto.

El peso promedio de las garrapatas utilizadas para evaluar la eficacia del coumaphos a la concentración recomendada fue de 275 ± 87 mg, con un rango de 159 a 455 mg. Este peso fue superior a lo observado por Bravo *et al.* (2008a), quienes obtuvieron una muestra de 480 garrapatas *R. microplus* adultas y repletas, recolectadas de cuatro unidades de producción de leche en Lara, Venezuela. Los autores registraron un peso promedio por garrapata de 220 mg.

En otro estudio realizado por Singh *et al.* (2015) en el norte de Gijarat, India, en el que se muestrearon diferentes cruza de ganado bovino lechero y búfalos, se observó un rango de peso de las garrapatas adultas ingurgitadas de 86.3 a 93 mg. Lo anterior indica que existe una gran variabilidad en el peso de las garrapatas debido a diferentes factores como el genotipo de las subpoblaciones, aislamiento geográfico, tipo de huésped o actividades asociadas al control (Castro y Newson, 1993). Sin embargo, se ha determinado que el peso de las teleóginas no es importante para el estudio pues no se relaciona con la efectividad del ixodicida (Membreño y Ortiz, 2015).

El efecto del coumaphos en la actividad reproductiva de las hembras ingurgitadas se determinó al medir su capacidad para inhibir la ovoposición. Para las diferentes unidades de producción, los grupos testigo tuvieron en promedio una masa de huevos de 122 ± 18 mg, mientras que en los grupos tratados con la concentración recomendada el promedio fue de 39 ± 32 mg (Figura 1). Estos resultados fueron diferentes a los reportados por Bravo *et al.* (2008a) en Lara, Venezuela, quienes utilizaron 240 hembras ingurgitadas de cuatro ranchos lecheros y observaron que las hembras del grupo testigo ovopositaron en

promedio 104 mg de masa de huevos, mientras que en el grupo donde se utilizó la concentración recomendada (0.25 %) el peso fue de 82 mg. Las diferencias entre ambos estudios pueden atribuirse a varios factores como la ubicación geográfica, tipo de clima, tamaño y peso de las teleoginas. Llama la atención que las diferencias en el peso de la masa de huevos entre los grupos testigos y tratados son mayores en esta investigación que en el estudio citado. Lo anterior, indica que, a la concentración recomendada por el fabricante del producto, el efecto del coumaphos es más efectivo en las unidades de producción incluidas en la presente investigación.

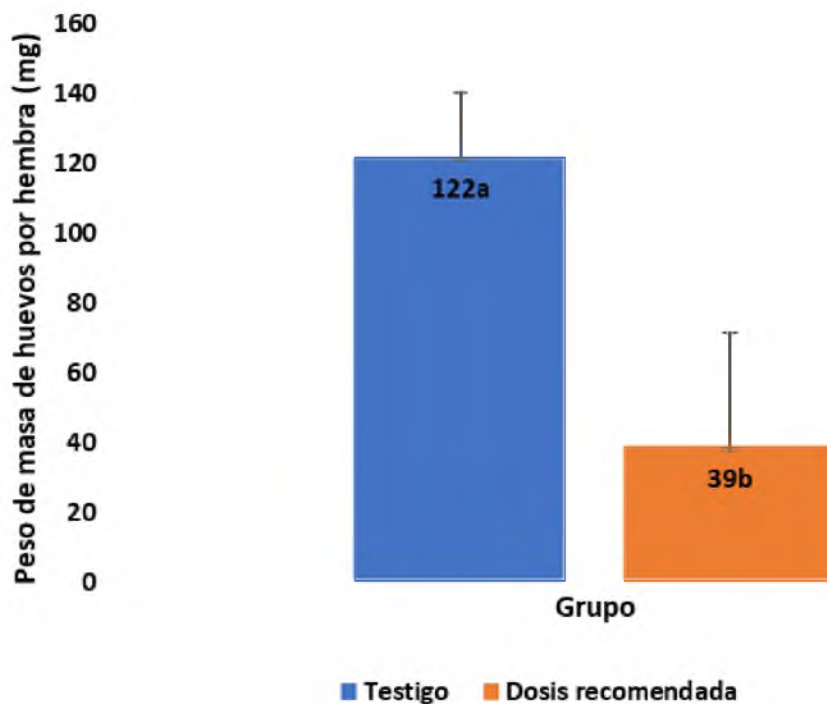


Figura 1. Diferencia estadística ($P < 0.05$) en el peso promedio de la masa de huevos ovopositada por teleoginas pertenecientes al grupo testigo y hembras expuestas a la concentración recomendada de coumaphos, en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

El porcentaje de ovoposición indica la capacidad de la hembra ingurgitada para ovopositar una mayor o menor cantidad de huevos. Todos los grupos testigo tuvieron el mayor peso de la masa de huevos, en comparación con los grupos tratados con la concentración recomendada. Por ello, se consideró que en los primeros la ovoposición fue del 100 %, mientras que en los grupos tratados la ovoposición fue del 32.8 % (Cuadro 4).

En el rancho 4 Vientos no se registró ovoposición en el grupo tratado con la concentración recomendada de coumaphos. El porcentaje de ovoposición fue inferior a lo observado por Membreño y Ortiz (2015), quienes realizaron un estudio en un hato lechero en Managua, Nicaragua. Los autores utilizaron 50 garrapatas adultas ingurgitadas para determinar la eficacia de un organofosforado a concentración recomendada, se observó un porcentaje de ovoposición de 43 %. La diferencia entre este estudio y el referido, podría deberse a los factores ambientales en los que se llevaron a cabo ambos estudios, diferencias en la humedad relativa requerida en la biología oviposicional de la especie y en algunos casos, con el peso de las teleóginas (Gallardo y Morales, 1999).

El porcentaje de eclosión también es altamente influenciado por el uso de ixodicidas. De las unidades de producción incluidas en el presente estudio, en rancho El Porvenir y rancho 4 Vientos no se registró eclosión tanto en el grupo testigo como en el grupo tratado (Cuadro 4). Lo anterior indica que, en esas subpoblaciones de garrapatas, la incubación se prolongó más allá del periodo de

14 días recomendado por la FAO (2004). Lo anterior concuerda con Alonso y Fernández (2022), quienes afirmaron que en la garrapata *R. microplus*, la eclosión de las larvas puede prolongarse hasta 60 días, a pesar de que los huevos cuenten con las condiciones óptimas. En el rancho 4 Vientos, la ausencia de eclosión se debió a que las teleóginas tratadas con la concentración recomendada de coumaphos tuvieron una ovoposición nula.

El porcentaje de eclosión promedio para los grupos testigos y tratados fue de 50.6 ± 47.6 y 53.6 ± 49 . Este resultado es diferente al reportado por Lepe y Brizo-Murillo (2022), quienes realizaron un estudio en cuatro unidades de producción bovina de Catacamas, Honduras y observaron un porcentaje de eclosión del 100 % y 25 % para los grupos testigo y tratado, respectivamente. La diferencia de resultados entre este y el estudio citado pueden atribuirse a que, en el estudio citado, los autores no especifican si el coumaphos se probó con individuos de uno o de todos los ranchos. Se podría esperar que los bioensayos realizados en un solo rancho sean menos variables que los realizados en varias unidades de producción. Asimismo, los resultados de este estudio muestran una gran variabilidad del porcentaje de eclosión dentro de los grupos, ya que los rangos incluyeron unidades de producción en los que no ocurrió la eclosión, o bien, mostraron valores cercanos al 100 %, lo que es una muestra que las prácticas de manejo como concentraciones utilizadas, intervalos entre dosificaciones, número de animales bañados por bomba y la mezcla arbitraria de productos comerciales, influyen en la respuesta al tratamiento.

La reproducción estimada se refiere a una estimación de la cantidad de larvas producidas por una hembra en cada uno de los grupos incluidos en el bioensayo. Este parámetro está influenciado por la masa de huevos por hembra y por el porcentaje de eclosión. La reproducción estimada promedio para los grupos testigos y tratados fue de $122,226 \pm 118,010$ y $63,021 \pm 61,490$, respectivamente. En las investigaciones este parámetro es olvidado en los resultados y discusión. Sin embargo, a pesar de su poca utilidad, es necesario para calcular el porcentaje de control que ejercen los ixodicidas en las poblaciones de garrapatas.

Por definición, el porcentaje de control únicamente se aplica a los grupos tratados, ya que se asume que en los grupos testigos se tiene un control del 0 %. La evaluación del porcentaje de control en los grupos tratados mostró que en dos poblaciones (El Porvenir y 4 Vientos) no se pudo calcular debido a que, tanto en los grupos testigos y tratados el porcentaje de eclosión fue de 0 %. Sin embargo, en las poblaciones restantes, el porcentaje de control promedio fue de 48.6 ± 1.5 (Cuadro 4). Este resultado difiere de lo reportado por Lepe y Brizo-Murillo (2022), quienes realizaron un estudio en Catacamas, Honduras, en el que recolectaron 1,000 garrapatas de cuatro fincas. El tratamiento con la concentración recomendada de coumaphos tuvo un porcentaje de control del 92 %, el cual es significativamente superior al obtenido en el presente trabajo. La diferencia entre el estudio citado y el presente trabajo se puede atribuir a factores como el manejo del control químico y el aislamiento geográfico de las subpoblaciones de garrapatas.

6.1.1.2. Cipermetrina. La cipermetrina es uno de los piretroides que más se utiliza en el control de los ectoparásitos (Mavlanov *et al.*, 2021). En el Cuadro 5 se puede observar el efecto de la cipermetrina en algunas variables reproductivas de la garrapata *R. microplus*.

El peso promedio de las teleóginas que se usaron para determinar la efectividad de la cipermetrina a la concentración recomendada fue de 280 ± 74 mg, con un rango de 184 a 365 mg, estos pesos son mayores a los registrados por Bravo *et al.* (2008a) y Singh *et al.* (2015), mencionados previamente.

El peso promedio de la masa de huevos de los grupos testigo fue de 109 ± 13 mg, con un rango de 88 a 113 mg, mientras que el promedio de los grupos tratados con la concentración recomendada obtuvo un peso de masa de huevos de 57 ± 49 mg, con un rango de 11 a 103 mg. Lo anterior indica que, a la concentración recomendada, la cipermetrina ejerció efecto en algunos ranchos en la ovoposición de las garrapatas.

Cuadro 5. Peso de garrapatas, peso de huevos, porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con cipermetrina a concentración recomendada en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Rancho	Grupo	n	Peso garrapatas (g)	Peso huevos (g)	Ovoposición (%)	Eclosión (%)	Reproducción estimada	Porcentaje de control
El Porvenir	Testigo	10	3.08	1.12	100	0	0	0
	CR*	10	3.64	0	0	0	0	0
La Gloria	Testigo	10	2.70	1.13	100	82	184,934	0
	CR*	10	2.52	1.03	51	81	167,051	10
4 vientos	Testigo	10	3.55	1.08	100	0	0	0
	CR*	10	3.70	0.11	0	0	0	0
La Esmeralda	Testigo	10	2.88	1.24	100	68	168,392	0
	CR*	10	2.64	0.68	45.1	95	129,826	23
El Triunfo	Testigo	10	1.47	0.88	100	97	170,156	0
	CR*	10	1.85	1.03	36.7	99	204,289	0

* CR= concentración recomendada por el fabricante del producto.

La diferencia de pesos de masa de huevos obtenida del promedio de los grupos testigos y tratados se puede apreciar en la Figura 2.

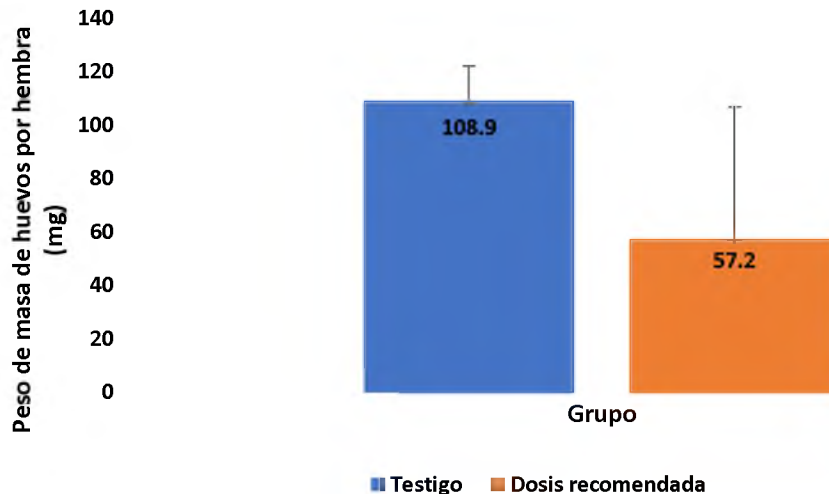


Figura 2. Diferencia en el peso promedio de la masa de huevos ovopositada por hembras de garrapatas de los grupos testigos y tratados con la concentración recomendada de cipermetrina, en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

El porcentaje de ovoposición promedio de los grupos testigos y tratados fue de 100 % y 26.6 %, respectivamente. Las garrapatas del grupo tratado con la concentración recomendada de cipermetrina del rancho El Porvenir y 4 Vientos no ovopositaron. El porcentaje de ovoposición promedio en los grupos tratados del presente trabajo fue menor al reportado por Membreño y Ortiz (2015), quienes registraron un valor de 84 por ciento.

El porcentaje de eclosión tanto en los grupos testigos como en la concentración recomendada de los ranchos El Porvenir y 4 Vientos fue de 0 %. Los porcentajes de eclosión promedio en los grupos testigos y tratados fueron 49.4 ± 46.2 y

55±50.7, respectivamente. El resultado en los grupos tratados difiere de lo observado por Rodríguez-Pacheco *et al.* (2017), quienes realizaron un estudio mediante la técnica de inmersión de adultas en Boyacá, Colombia y obtuvieron un porcentaje de eclosión del 14 por ciento.

En los ranchos El Porvenir y 4 Vientos la reproducción estimada fue de cero debido a que no se registró eclosión. En los ranchos restantes, la reproducción estimada para los grupos testigos y tratados fue de 174,494 y 167,055, respectivamente, lo que indica que fueron valores muy parecidos. En el rancho El Triunfo, la reproducción estimada de los grupos tratados fue superior a la de los grupos testigos (204,289 vs 170,156), por lo que no se pudo establecer el valor del porcentaje de control para dicha unidad de producción. Los resultados sobre el porcentaje de control no se pudieron comparar con otros estudios debido a que la reproducción estimada es un parámetro necesario para calcular el porcentaje de control, pero pocos autores muestran su valor.

Por ausencia de valor en la reproducción estimada, únicamente se pudo calcular el porcentaje de control en los ranchos La Gloria y La Esmeralda, con valores de 10 % y 23 %, respectivamente. Ambos valores son inferiores al 68 % reportado por Lepe y Brizo-Murillo (2022) cuando realizaron el tratamiento con cipermetrina a la concentración recomendada.

6.1.1.3. Amitraz. Debido a que la FAO (2004) recomienda probar tres concentraciones de coumaphos para medir el nivel de resistencia en las

subpoblaciones de garrapata, los resultados para este compuesto se presentan en la sección de bioensayos con concentraciones múltiples.

6.1.2. Bioensayos con concentraciones múltiples. Los bioensayos realizados a diferentes concentraciones mediante la prueba de inmersión de adultas tienen como objetivo buscar la concentración a la que los ixodícidias son eficaces en el control de una subpoblación específica de garrapatas. Mediante este tipo de bioensayos se puede medir la respuesta poblacional al ixodícida (Alonso-Díaz *et al.*, 2006).

6.1.2.1. Coumaphos. El coumaphos es el organofosforado más utilizado en el control de la garrapata. Por ello, es importante determinar su nivel de eficacia en las subpoblaciones de garrapata. En el Cuadro 6 se muestran la procedencia, peso de las garrapatas y de huevos, porcentaje de ovoposición y de eclosión, reproducción y porcentaje de eclosión en subpoblaciones de garrapata *R. microplus* procedentes de unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Los pesos promedios de las teleóginas y de la masa de huevos, obtenidos en las garrapatas que se utilizaron en los bioensayos para medir la efectividad del coumaphos a concentraciones múltiples fueron de 270.5 ± 76.6 y 59 ± 44.8 mg, respectivamente.

Los valores del porcentaje de ovoposición fueron más altos en todos los grupos testigos de las diferentes unidades de producción, por lo que se consideró del 100 %. En los ranchos La Gloria, La Esmeralda y El Triunfo, se obtuvieron porcentajes de ovoposición superiores al 25 % en todas las concentraciones

utilizadas (0.1 %, 0.2 %, 0.4 % y 0.8 %), o bien, sus equivalentes en partes por millón (ppm; 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm y 800 ppm, respectivamente).

Cuadro 6. Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con coumaphos a concentraciones múltiples en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Rancho	Grupo	Ovoposición (%)	Eclosión (%)	Reproducción estimada	Control (%)
El Porvenir	Testigo	100	0	—	—
	0.1	52.4	0	—	—
	0.2*	33.1	0	—	—
	0.4	0	0	—	—
	0.8	0	0	—	—
La Gloria	Testigo	100	90	266,436	0
	0.1	83.8	93	213,528	20
	0.2*	56.9	84	140,062	47
	0.4	69.1	69	125,373	52
	0.8	33.4	70	57,568	78
4 Vientos	Testigo	100	0	—	—
	0.1	8	0	—	—
	0.2*	0	0	—	—
	0.4	0	0	—	—
	0.8	0	0	—	—
La Esmeralda	Testigo	100	52	126,194	0
	0.1	67.8	89	141,065	0
	0.2*	43.5	95	81,358	36
	0.4	54.1	93	105,685	16
	0.8	23.3	68	42,541	66
El Triunfo	Testigo	100	97	187,404	0
	0.1	55	89	106,124	43
	0.2*	58.5	89	93,913	50
	0.4	70.2	89	131,827	29
	0.8	36.1	99	50,846	73

*Concentración recomendada por el fabricante.

Estos porcentajes de ovoposición fueron superiores a los observados en Colombia por Villar *et al.* (2016), quienes utilizaron una concentración de 622 ppm y registraron un porcentaje de ovoposición menor al 1 %. Por su parte, Galindo (2017) utilizó una concentración de 1,500 ppm y obtuvo un porcentaje de ovoposición de 1.42 %. La disparidad de resultados entre el presente estudio y los trabajos citados se deben a diferencias en el manejo del control químico de la garrapata en los sitios donde se llevaron a cabo los estudios, las cuales podrían influir en la magnitud de la resistencia.

En la Figura 3 se observa el porcentaje de ovoposición promedio para cada una de las concentraciones que se ensayaron. En términos generales, el porcentaje de ovoposición en la garrapata *R. microplus* disminuyó a medida que se incrementaron las concentraciones de coumaphos. Asimismo, también se puede apreciar que, aunque haya un efecto aparente sobre el porcentaje de ovoposición, este llega a ser de 16.6 % en la concentración más alta, lo suficiente para considerar que hay resistencia al coumaphos en las diferentes subpoblaciones evaluadas.

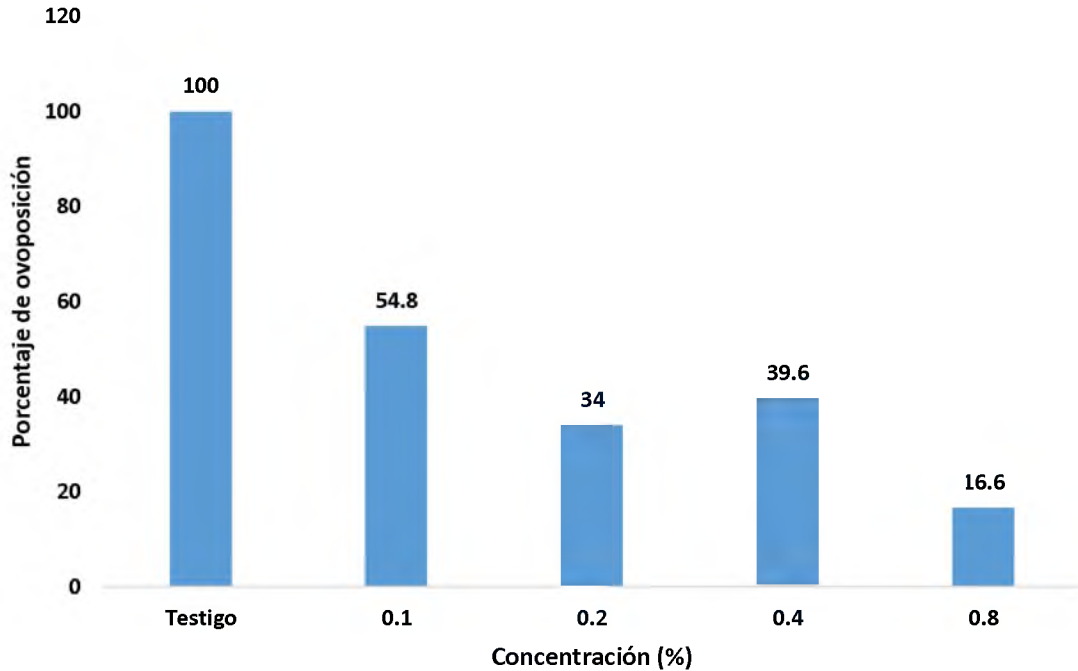


Figura 3. Porcentaje de ovoposición promedio de la garrapata *R. microplus* en diferentes concentraciones de coumaphos en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

El porcentaje de eclosión promedio de las garrapatas *R. microplus* sometidas a diferentes concentraciones de coumaphos (Figura 4). No se observó un efecto marcado de las concentraciones de coumaphos sobre la eclosión. En los ranchos El Porvenir y 4 Vientos, el porcentaje de eclosión en todos los grupos fue de 0 %, atribuible a características específicas del ciclo biológico de esas subpoblaciones en particular, en las que se retrasó la eclosión. Por esa razón, en esas unidades de producción no se pudieron calcular ni la reproducción estimada ni el porcentaje de control.

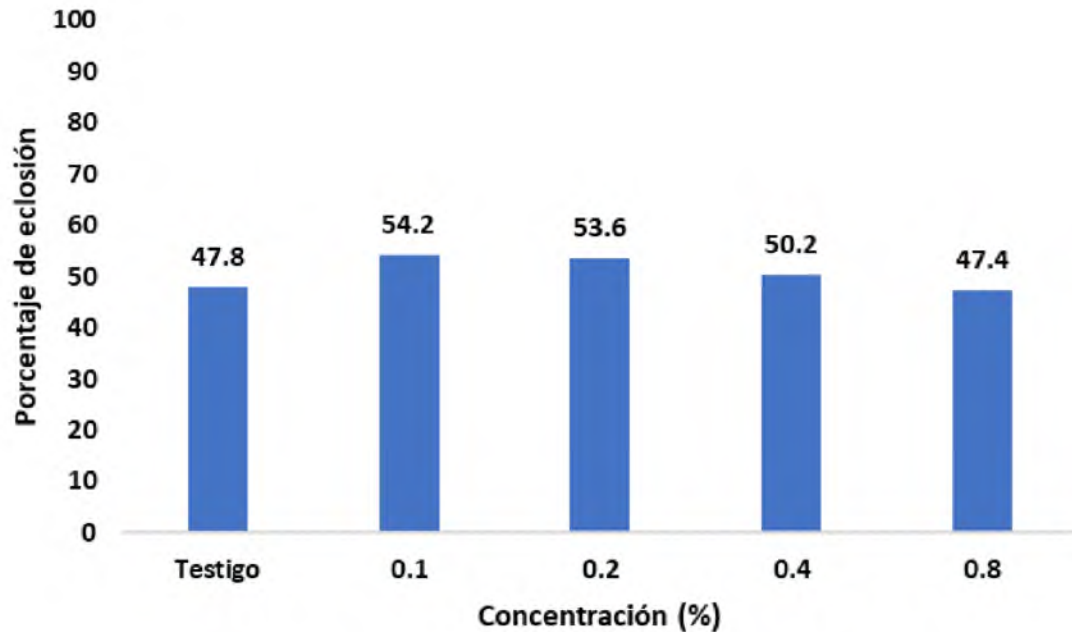


Figura 4. Porcentaje de eclosión promedio de la garrapata *R. microplus* en diferentes concentraciones de coumaphos en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

El porcentaje de eclosión de las garrapatas en los ranchos restantes (La Gloria, La Esmeralda y El Triunfo) tuvo un rango de 79 % a 90 % cuando se consideraron todas las concentraciones. Este resultado difiere de lo observado por Villar *et al.* (2016) y Galindo (2017), obtuvieron porcentajes de eclosión nulos o cercanos a cero.

Los ranchos El Porvenir y 4 Vientos no registraron valores en la reproducción estimada y porcentaje de control, ya que, el porcentaje de eclosión fue igual a cero. En el resto de los ranchos, el porcentaje de control promedio fue superior al 20 %, pero en la concentración más alta, el valor llegó a 72 %, lo cual indica la

presencia de resistencia (Figura 5). Este valor fue inferior a lo registrado por Galindo (2017), quien observó un porcentaje de control del 100 %.

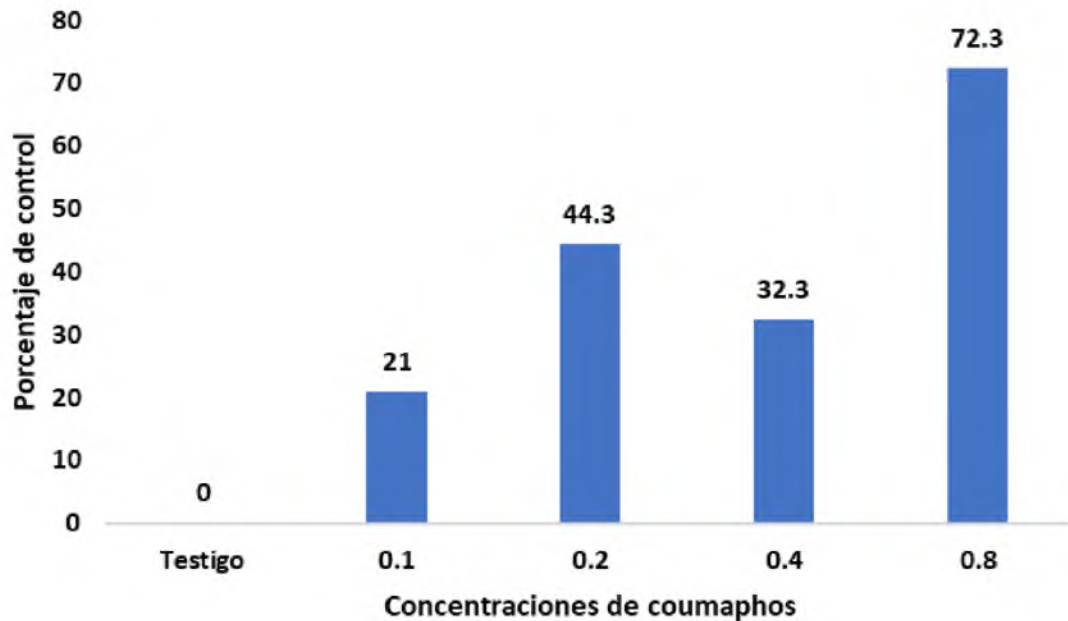


Figura 5. Porcentaje de control promedio de la garrapata *R. microplus* en diferentes concentraciones de coumaphos en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

6.1.2.2. Cipermetrina. Dentro de los piretroides, la cipermetrina es uno de los principios activos más utilizados en el control de la garrapata. Aunque inicialmente los piretroides tuvieron una alta eficacia contra la garrapata, en los últimos años se han constituido como el grupo que más resistencia ha generado (Cuore *et al.*, 2017). Por esa razón, es importante determinar de una manera objetiva el nivel de resistencia en este grupo de ixodicidas. En el Cuadro 7, se muestran la procedencia, peso de las garrapatas y de huevos, porcentaje de ovoposición y de eclosión, reproducción y porcentaje de eclosión en

subpoblaciones de garrapata *R. microplus* procedentes de unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Cuadro 7. Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con cipermetrina a concentraciones múltiples en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Rancho	Grupo	Ovoposición (%)	Eclosión (%)	RE	Control (%)
El Porvenir	Testigo	100	0	0	—
	0.025	36.4	0	0	—
	0.050	0	0	0	—
	0.100	0	0	0	—
	0.200	0	0	0	—
La Gloria	Testigo	100	82.0	184,976	0
	0.025	71.3	76.0	134,383	27.0
	0.050	98.0	81.0	167,314	10.0
	0.100	60.6	50.0	56,050	70.0
	0.200	67.2	77.0	93,771	49.0
4 Vientos	Testigo	100	0	0	—
	0.025	0	0	0	—
	0.050	5.8	0	0	—
	0.100	0	0	0	—
	0.200	0	0	0	—
La Esmeralda	Testigo	100	68.0	168,096	0
	0.025	8.0	90.0	35,028	79.0
	0.050	63.7	95.0	130,074	23.0
	0.100	37.6	87.0	45,153	73.0
	0.200	0	0	0	100
El Triunfo	Testigo	100	97.0	170,177	0
	0.025	90.2	98.0	193,393	0
	0.050	91.8	99.0	204,554	0
	0.100	94.6	99.0	183,586	0
	0.200	50.8	97.0	117,952	31.0

El porcentaje de ovoposición en los grupos de control fue del 100 %, mientras que en los grupos tratados el promedio fue de 39.3 %. En promedio, en los grupos

tratados se obtuvieron porcentajes de ovoposición que iban desde 24 % hasta 52.4 % (Figura 6).

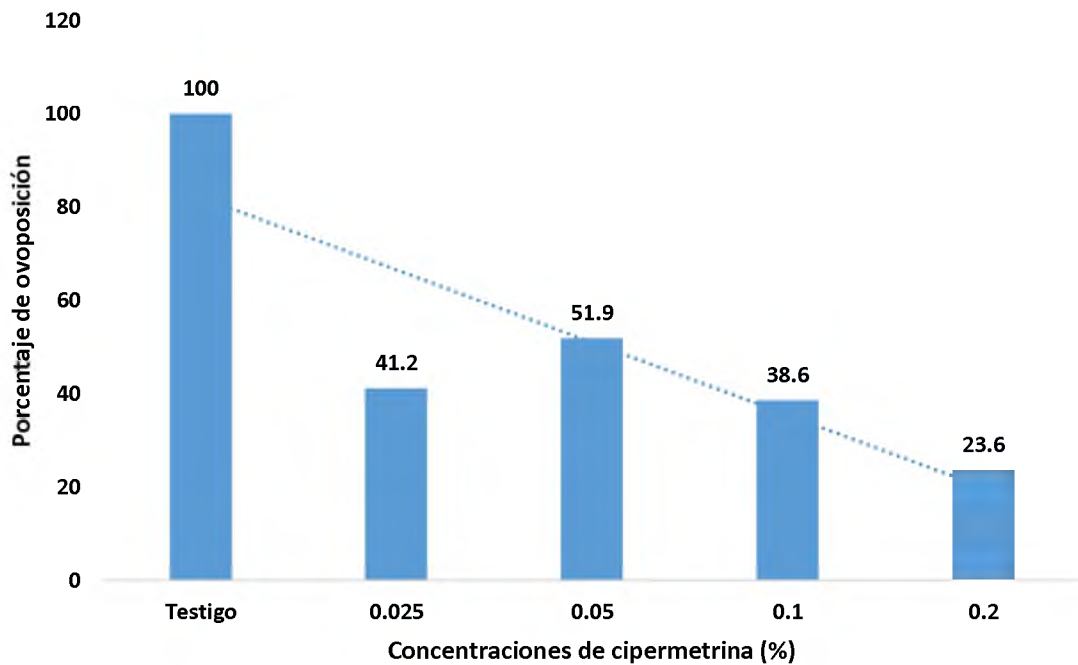


Figura 6. Porcentaje de ovoposición promedio de la garrapata *R. microplus* con diferentes concentraciones de cipermetrina en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

El porcentaje de ovoposición con diferentes concentraciones de cipermetrina fue menor a lo reportado por Galindo (2017), realizó pruebas con cipermetrina a una concentración de 225 ppm y observó 76.98 % de ovoposición. La diferencia entre ambos estudios podría atribuirse a las prácticas de manejo, ya que varios de los productores incluidos en el presente estudio tienen la costumbre de mezclar de manera empírica productos comerciales con ingredientes activos piretroides. La

mezcla indiscriminada podría contribuir a generar la resistencia a ese grupo ixodícida.

El porcentaje de eclosión se puede observar en la Figura 7. Este parámetro fue nulo en los ranchos Porvenir y 4 Vientos. Lo anterior indica que, en esos ranchos, la eclosión no fue afectada por la exposición a diferentes concentraciones de cipermetrina, sino que más bien obedece a cuestiones biológicas en la duración de la incubación de esas subpoblaciones, en las que seguramente el periodo de tiempo no fue suficiente para permitir que los huevos comenzaran a eclosionar. Se necesitarían estudios específicos al respecto para comprobar lo anterior.

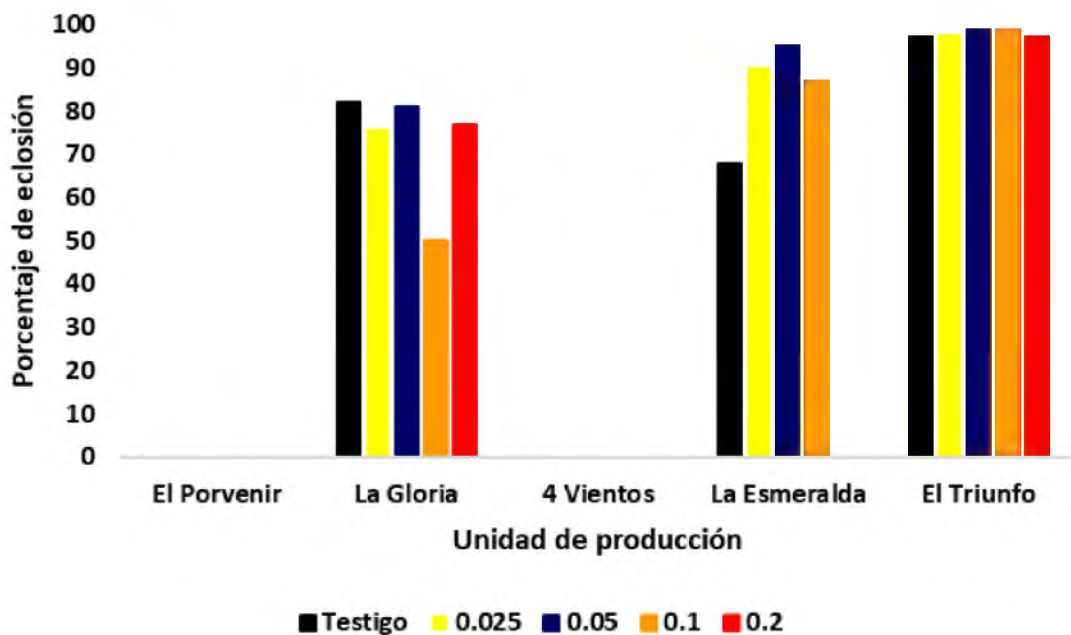


Figura 7. Porcentaje de eclosión promedio de la garrapata *R. microplus* con diferentes concentraciones de cipermetrina en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

En los ranchos La Gloria, La Esmeralda y El Triunfo se obtuvieron valores de eclosión iguales o superiores a 50 %. Este resultado difiere de los reportado por Rivera *et al.* (2009), quienes muestrearon varias unidades de producción en dos municipios de Veracruz; cuando utilizaron una dosis discriminante de 200 ppm, observaron porcentajes de eclosión de 30 % y 89.47 %. Por otro lado, Galindo (2017) utilizó una concentración de cipermetrina de 225 ppm y no observó ningún efecto en el porcentaje de eclosión. Lo anterior indica que el grado de resistencia de la garrapata a cipermetrina, depende de las subpoblaciones que hayan sido incluidas en los estudios, ya que han sido sometidas a diferentes manejos.

El porcentaje de control fue nulo en los ranchos El Porvenir y 4 Vientos, debido a que en todos los grupos (incluyendo los grupos testigos) no se registró ovoposición, por lo que se decidió invalidar el ensayo para esas unidades de producción. Esta variable también tuvo resultados inusuales en el rancho El Triunfo debido a que los valores de reproducción estimada fueron mayores que los del grupo testigo. Únicamente se observó un resultado coherente en la concentración 0.2 %, en el que se observó un porcentaje de control de 31 %. Al respecto, Galindo (2017) obtuvo un porcentaje de control de 22.08 % cuando utilizó la misma concentración.

En los ranchos La Gloria y La Esmeralda, los porcentajes de control, tomadas en cuenta todas las concentraciones, oscilaron entre 10 % y 100 %, lo cual indica una gran variabilidad en el nivel de resistencia en esas subpoblaciones de garrapata.

6.1.2.3. Amitraz. El amitraz es uno de los principios activos con mayor eficacia en el control químico de las garrapatas (Bravo *et al.*, 2008b) por ello, es el principal producto de elección en México. Por su amplia utilización en los últimos años, existe una mayor probabilidad de que las subpoblaciones de garrapata hayan generado resistencia contra este principio activo.

El peso promedio de las garrapatas utilizadas para medir la efectividad del amitraz a concentraciones múltiples en diferentes unidades de producción fue de 261 ± 72 mg, 259 ± 80 mg, 283 ± 103 mg y 255 ± 85 mg, para los grupos testigo, 0.0125 %, 0.05 % y 0.2 %, respectivamente. Estos pesos son muy superiores a los observados por Singh *et al.* (2015), autores que reportaron un rango de pesos de 83.3 a 93 mg.

El peso promedio de la masa de huevos para cada concentración de amitraz fue de 115 ± 25 mg, 56 ± 36 , 37 ± 37 mg y 29 ± 31 mg, para los grupos testigo, 0.0125 %, 0.05 % y 0.2 %, respectivamente. Estos pesos son mayores a los registrados por Singh *et al.* (2015), que observaron un rango de peso de huevos de 0.09 mg a 0.99 mg. Por su parte, Villar *et al.* (2016) registraron rangos de peso de 50.5 mg a 81.1 mg en las diferentes concentraciones de amitraz, lo que es muy similar a lo observado en el presente trabajo.

En el Cuadro 8, se muestran algunas variables reproductivas en subpoblaciones de garrapata *R. microplus* tratadas con diferentes concentraciones de amitraz.

Cuadro 8. Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con amitraz a concentración recomendada en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Rancho	Grupo	Ovoposición (%)	Eclosión (%)	R. E.	Control (%)
El Porvenir	Testigo	100	0	0	0
	0.0125	15.4	0	0	—
	0.0500	0	—	—	—
	0.2000	0	—	—	—
La Gloria	Testigo	100	97.0	283,841	0
	0.0125	77.8	71.0	138,734	51.0
	0.05	58.5	57.5	68,480	76.0
	0.2	54.4	58.7	65,419	77.0
4 Vientos	Testigo	100	0	0	0
	0.0125	10.9	0	0	—
	0.05	0	—	—	—
	0.2	0	—	—	—
La Esmeralda	Testigo	100	90.0	195,462	0
	0.0125	52.2	85.2	114,920	41.0
	0.05	9.7	34.9	28,427	85.0
	0.2	0	69.9	34,146	83.0
El Triunfo	Testigo	100	98.0	198,979	0
	0.0125	88.7	94.8	148,922	25.0
	0.05	96.3	87.6	152,187	24.0
	0.2	85.2	91.7	125,672	37.0

Al no estar sometidas al efecto de ningún fármaco, se consideró que los grupos testigo alcanzaron un porcentaje del 100 %. En cambio, los grupos sometidos a diferentes concentraciones de amitraz mostraron rangos de ovoposición que iban desde 0 % (ranchos El Porvenir y 4 Vientos) hasta 96 % (rancho El Triunfo), que se puede apreciar en el Cuadro 8. Lo anterior, indica que existe una gran variabilidad en la efectividad del amitraz aplicado en diferentes concentraciones

a las subpoblaciones de garrapatas incluidas en el estudio. En la Figura 8 se puede apreciar el porcentaje de ovoposición promedio por concentración de amitraz utilizada en cada una de las unidades de producción.

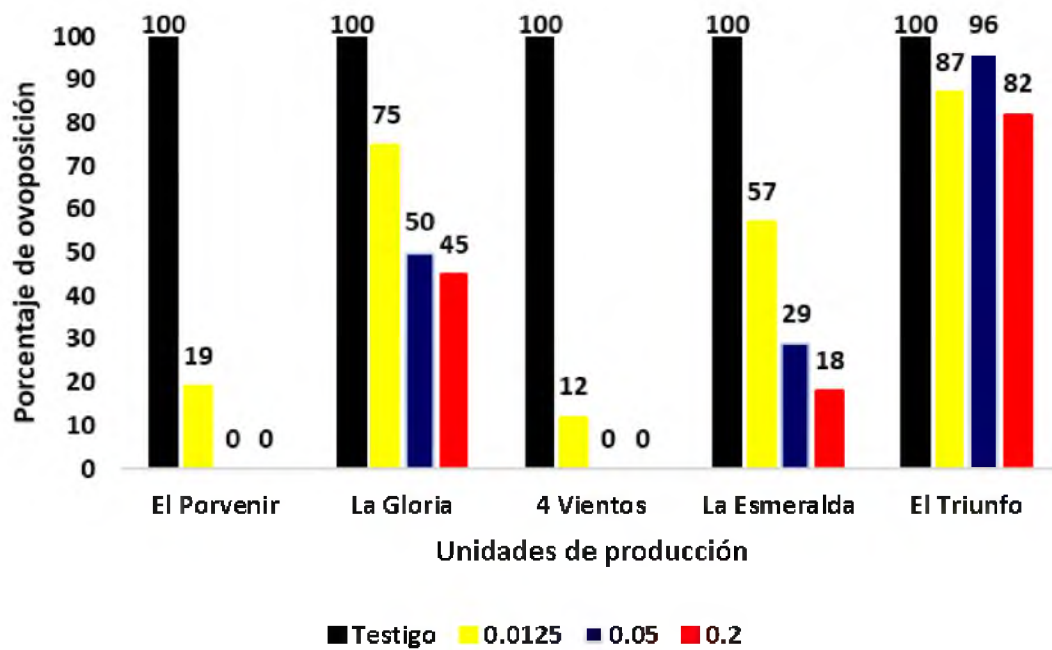


Figura 8. Porcentaje de ovoposición de la garrapata *R. microplus* con diferentes concentraciones de amitraz en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

El porcentaje de ovoposición en la concentración a 125 ppm (0.0125 %) fue mayor en los ranchos El Triunfo (87 %), La Gloria (75 %) y La Esmeralda (57 %), mientras que en los ranchos El Porvenir y 4 Vientos fue de 19 % y 12 %, respectivamente. Al comparar estos porcentajes con los obtenidos por Singh *et al.* (2015), estos autores usaron la misma concentración y registraron 68.2 % de ovoposición, se puede deducir que ninguno de ellos se parece, ya que dos se

encuentran por arriba y tres por abajo del mismo. Es importante hacer notar que, en los ranchos El Triunfo y 4 Vientos, los grupos sometidos a una concentración de 500 ppm (0.05 %) o de 2,000 ppm (0.2 %) no presentaron ovoposición, lo cual es una muestra que en esas subpoblaciones aún hay cierto grado de susceptibilidad a las concentraciones altas de amitraz. En contraparte, los porcentajes de ovoposición obtenidos aquí son menores a lo observado por Membreño y Ortiz (2015), registraron un valor del 98 por ciento.

El porcentaje de eclosión por unidad de producción y por concentración puede observarse en la Figura 9.

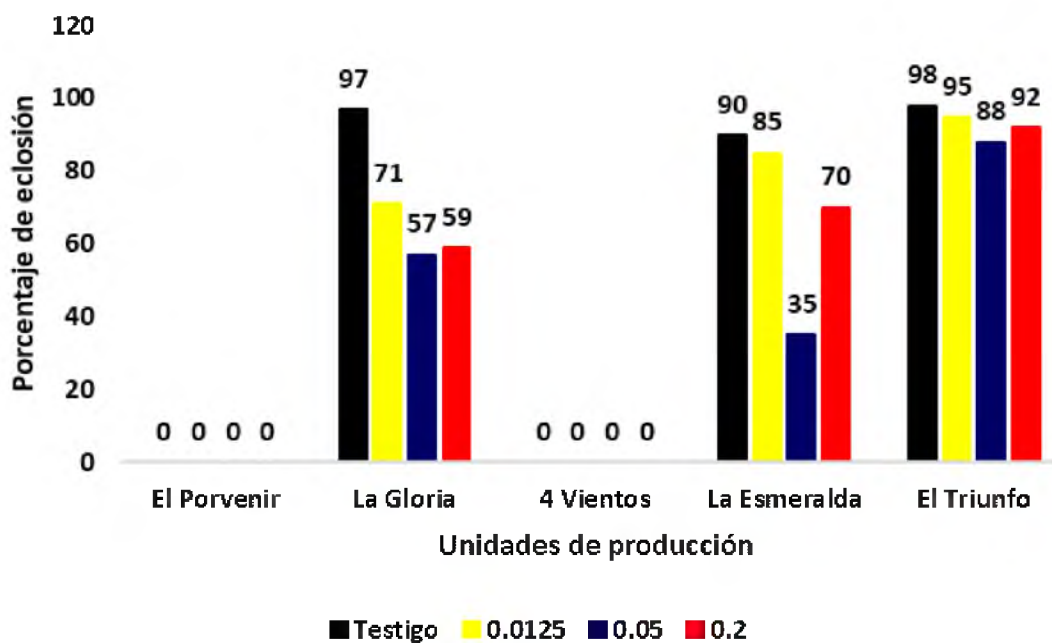


Figura 9. Porcentaje de eclosión de la garrapata *R. microplus* con diferentes concentraciones de Amitraz en unidades de producción bovina de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

El porcentaje de eclosión en las subpoblaciones de garrapatas de los ranchos El Porvenir y 4 Vientos fue nulo. Lo anterior se debió a que dichas subpoblaciones presentaron una ovoposición reducida o nula. En los otros ranchos, se observó un porcentaje promedio de eclosión de $95 \% \pm 4.0$, $83.7 \% \pm 12.0$, $60 \% \pm 26.4$ y $73.4 \% \pm 16.7$, para los grupos testigo, 0.0125% , 0.05% y 0.2% , respectivamente. Estos porcentajes coinciden con los registrados por Villar *et al.* (2016), utilizaron concentraciones de 208 y 416 ppm (0.0208% y 0.0416%), en dos unidades de producción ubicadas en una región con clima tropical, en Colombia y obtuvieron porcentajes de eclosión de $75.7 \% \pm 37.1$ y $91.5 \% \pm 14.3$ para la concentración de 208 ppm y de $81.7 \% \pm 26.5$ y $68.3 \% \pm 39.1$ para la concentración de 416 ppm.

Al no haber ovoposición y/o eclosión en los ranchos El Porvenir y 4 Vientos, la reproducción estimada y el porcentaje de control fueron nulos. En los otros ranchos, el porcentaje de control promedio alcanzado por cada concentración en las unidades de producción restantes $39 \% \pm 12.8$, $62 \% \pm 33$ y $66 \% \pm 24.7 \%$, para las concentraciones 0.0125% , 0.05% y 0.2% , respectivamente. Estos porcentajes son más altos que los obtenidos por Soberanes *et al.* (2002), realizaron en Tabasco una prueba de resistencia al amitraz mediante la técnica de inmersión de adultas con una concentración de 250 ppm (0.025%) y obtuvieron un porcentaje de control de 22.8 por ciento.

6.2. Determinación de las concentraciones de coumaphos, cipermetrina y amitraz para la inhibición de la ovoposición e inhibición de la eclosión en diferentes subpoblaciones de garrapata *R. microplus*

La utilización de concentraciones múltiples de ixodicidas permitió llevar a cabo un análisis de regresión con el fin de establecer la concentración necesaria para lograr un nivel de efectividad específico. En la resistencia a ixodicidas, se ha utilizado ampliamente el análisis probit para medir la relación entre la concentración de un ixodicida y la relación de casos que presentan mortalidad a dicha concentración. Sin embargo, en la prueba de inmersión de adultas la perspectiva cambia, ya que, no se busca la mortalidad lograda, sino el efecto sobre algunos parámetros reproductivos de las garrapatas adultas. Los dos parámetros más estudiados son la inhibición de la ovoposición e inhibición de la eclosión.

6.2.1. Determinación de las concentraciones requeridas de coumaphos, cipermetrina y amitraz para lograr la inhibición de la ovoposición e inhibición de la eclosión en niveles del 50 %, 90 % y 99 %.

Además de la mortalidad larvaria, la inhibición de la ovoposición y la eclosión son dos de los parámetros que más se miden en los bioensayos de la resistencia de la garrapata a ixodicidas. Lo anterior se basa en el hecho de que las garrapatas resistentes no presentarán mortalidad después de ser expuestas a la concentración recomendada o diferentes concentraciones del principio activo,

pero pueden sufrir una disminución en sus parámetros reproductivos, lo que contribuiría con su control.

6.2.1.1. Inhibición de la ovoposición. El análisis probit es aplicado para realizar análisis farmacológicos en el que se espera que la respuesta buscada sea dosis dependiente. En la prueba de inmersión de adultas, se busca la concentración necesaria para reducir la ovoposición a un nivel establecido previamente. En los estudios de resistencia a ixodicidas, se establecen tres niveles de inhibición de la ovoposición: I.O. 50 %, I.O. 90 % e I.O. 99 %. Los resultados del análisis probit para la inhibición de la ovoposición con la aplicación de diferentes concentraciones de coumaphos se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Concentraciones de coumaphos calculadas mediante el análisis probit para lograr la inhibición de la ovoposición en niveles de 50 %, 90 % y 99 % en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* ingurgitadas de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Rancho	Pendiente ± EE	I.O. 50 % (I.C. 95 %)	I.O. 90 % (I.C. 95 %)	I.O.99 % (I.C. 95 %)
El Porvenir	3.30±0.27	0.12 (0.08-0.14)	0.28 (0.22-0.47)	0.59 (0.38-1.58)
La Gloria	1.29±0.14	0.48 (0.30-1.60)	4.73 (1.50-867.5)	30.44 (4.74-178,064)
4 Vientos	—	—	—	—
Esmeralda	1.09±0.14	0.24 (0.11-0.42)	3.64 (1.24-387.1)	33.18 (4.93-177,628)
El Triunfo	0.39±0.13	0.60	1,261	643,954

Los resultados del análisis probit muestran una pendiente positiva en todos los casos, lo que indica que a medida que se incrementan las concentraciones de los ingredientes activos, se obtiene un mayor porcentaje de inhibición de la ovoposición. El rancho El Porvenir tuvo la mejor respuesta al tratamiento con

coumaphos, ya que las concentraciones para lograr la I.O. 50 %, I.O. 90 % e I.O. 99 % fueron de 0.12 %, 0.28 % y 0.59 %, respectivamente. Lo anterior significa que la concentración necesaria para alcanzar la I.O. se encuentra por debajo de la concentración máxima utilizada en el bioensayo. Por otro lado, los ranchos La Gloria, La Esmeralda y El Triunfo mostraron mayor resistencia al coumaphos al requerir concentraciones para alcanzar la I.O. 99 % de 30.44 %, 33.18 % y 643,954 %, respectivamente. Lo anterior indica que para lograr una I.O. 99 %, se requiere una concentración de 152, 166 y 6.4 millones de veces la concentración recomendada, respectivamente. Lo anterior muestra que en esas poblaciones la resistencia a coumaphos está ampliamente extendida.

En el Cuadro 10 se muestran los efectos de concentraciones múltiples de cipermetrina sobre el porcentaje de ovoposición de garrapatas.

Cuadro 10. Concentraciones de cipermetrina calculadas mediante el análisis probit para lograr la inhibición de la ovoposición en niveles de 50 %, 90 % y 99 % en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* ingurgitadas de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Rancho	Pendiente ± EE	I.O. 50 % (I.C. 95 %)	I.O. 90 % (I.C. 95 %)	I.O.99 % (I.C. 95 %)
El Porvenir	6.44±0.96	0.02 (0.02-0.02)	0.03 (0.03-0.03)	0.05 (0.04-0.07)
La Gloria	0.50±0.14	1.50	569	71,959
4 Vientos	0.63±0.39	0.00	0.00	0.11
Esmeralda	3.74±0.30	0.07 (0.05-0.09)	0.15 (0.11-0.34)	0.29 (0.18-1.32)
El Triunfo	—	—	—	—

La cipermetrina mostró contrastes en su efectividad al aplicarla en las cinco diferentes unidades de producción. En el rancho El Porvenir, 4 Vientos y La Esmeralda, la concentración que indujo una inhibición de la ovoposición superior

al 99 % fue de 0.05 %, 0.11 % y 0.29 %, respectivamente. Lo anterior significa que en los ranchos El Porvenir y 4 Vientos, la dosis efectiva se encuentra por debajo de la concentración máxima utilizada en el bioensayo, mientras que en el rancho La Esmeralda, esa concentración se encuentra por arriba de la concentración máxima utilizada. La dosis efectiva para la I.O. 99 % fue de 71,950, lo que equivale a 1.4 millones de veces la concentración recomendada. En el rancho El Triunfo los resultados poco consistentes de las concentraciones utilizadas no permitieron obtener resultados del análisis probit.

En el Cuadro 11 se muestran los efectos de las concentraciones múltiples de amitraz sobre la inhibición de ovoposición de las garrapatas hembras. De los cinco ranchos, en tres se calculó una concentración para inducir la I.O. 99 % menor a la concentración máxima utilizada en el bioensayo, mientras que en los dos restantes la concentración estuvo muy por encima de esta.

Cuadro 11. Concentración de amitraz calculadas mediante el análisis probit para lograr la inhibición de la ovoposición en niveles de 50 %, 90 % y 99 % en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* ingurgitadas de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Rancho	Pendiente ± EE	I.O. 50 % (I.C. 95 %)	I.O. 90 % (I.C. 95 %)	I.O.99 % (I.C. 95 %)
El Porvenir	3.38±1.11	0.012 (0.008-0.014)	0.02 (0.015-0.02)	0.03 (0.02-0.15)
La Gloria	0.54±0.11	0.22 (0.13-0.65)	50.58 (7.09-4,390)	4,208 (171.8-6,310,237)
4 Vientos	3.26±1.30	0.005 (0.000-0.008)	0.013 (0.011-0.018)	0.028 (0.019-0.041)
Esmeralda	2.33±0.22	0.013 (0.011-0.015)	0.047 (0.040-0.060)	0.133 (0.097-0.021)
El Triunfo	0.18±0.14	602,039	6.796X10 ¹²	3.820X10 ¹⁸

Las concentraciones necesarias para inducir la I.O. 99 % para los ranchos El Porvenir, 4 Vientos, y La Esmeralda fueron de 0.03 %, 0.028 % y 0.133 %, respectivamente.

respectivamente. En los ranchos La Gloria y El Triunfo, las concentraciones necesarias para inducir la I.O. 99 % fueron de 4,208 y 3.8×10^{18} , respectivamente. Lo anterior, es un reflejo de las diferencias en cuanto al manejo del control químico de las garrapatas, en el que cada unidad productiva recibe un manejo diferente que depende de las preferencias del productor. La ausencia de estudios que hayan utilizado las mismas concentraciones que en el presente trabajo no permite realizar una comparación y una discusión más robusta.

6.2.1.2. Inhibición de la eclosión. La inhibición de la eclosión es otro de los parámetros reproductivos que se mide en los bioensayos de inmersión de adultas. Se considera que, si el ixodicida no es capaz de matar a los especímenes adultos, podría tener un efecto tanto en la ovoposición como en la capacidad para eclosionar de los huevos.

A diferencia del efecto dosis dependiente de los ixodicidas sobre la inhibición de la ovoposición observada en la mayoría de los bioensayos, en la inhibición del porcentaje de eclosión este efecto no se mostró consistente. En el Cuadro 12 se muestran los efectos de concentraciones múltiples de coumaphos sobre el porcentaje de eclosión de huevos provenientes de garrapatas previamente tratadas.

Cuadro 12. Concentraciones de coumaphos calculadas mediante el análisis probit para lograr la inhibición de la eclosión en niveles de 50 %, 90 % y 99 % en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* ingurgitadas de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Rancho	Pendiente ± EE	I.E. 50 % (I.C. 95 %)	I.E. 90 % (I.C. 95 %)	I.E.99 % (I.C. 95 %)
El Porvenir	—	—	—	—
La Gloria	1.03±0.16	1.90 (1.21-4.23)	33.42 (11.27-251.14)	346.2 (68.2-7,139)
4 Vientos	—	—	—	—
Esmeralda	0.98±0.17	4.26	87.7	1,033.5
El Triunfo	—	—	—	—

Los resultados del análisis probit para encontrar la concentración necesaria de coumpahos para inhibir la eclosión de los huevos no fueron consistentes. En los ranchos La Gloria y La Esmeralda, la concentración requerida para inducir la I.E. 99 % fue de 346 % y 1,033 %; es decir, 1,730 y 5,135 veces la concentración recomendada, respectivamente. En los ranchos El Porvenir y 4 Vientos el bioensayo no arrojó resultados porque no se registró eclosión. En el rancho El Triunfo, los resultados no mostraron una relación dependiente de la concentración, por lo que el procedimiento tampoco arrojó resultados.

El Cuadro 13 muestra los efectos de concentraciones múltiples de cipermetrina sobre el porcentaje de eclosión de huevos provenientes de garrapatas previamente tratadas.

Nuevamente, en los ranchos El Porvenir y 4 Vientos no se observó eclosión de los huevos. En el rancho El Triunfo, los resultados de la I.E. fueron cercanos al 100 % y no mostraron una relación con la concentración utilizada.

Cuadro 13. Concentraciones de cipermetrina calculadas mediante el análisis probit para lograr la inhibición de la eclosión en niveles de 50 %, 90 % y 99 % en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* ingurgitadas de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Rancho	Pendiente ± EE	I.E. 50 % (I.C. 95 %)	I.E. 90 % (I.C. 95 %)	I.E.99 % (I.C. 95 %)
El Porvenir	—	—	—	—
La Gloria	0.28±0.14	7.15	298,918	1,750,517,519
4 Vientos	—	—	—	—
Esmeralda	3.44±0.20	0.11 (0.05-37.9)	0.27 (0.13-6,361,218,634)	0.54 (0.20-4.815X10 ¹⁶)
El Triunfo	—	—	—	—

En el rancho La Esmeralda, la concentración necesaria para inducir una I.E. 99 % fue de 0.54 %, es decir, 2.7 veces más que la concentración más alta utilizada en los bioensayos. En el rancho La Esmeralda, la concentración requerida fue estratosférica por lo que el resultado se sale de la lógica farmacológica.

El Cuadro 14 muestra los efectos de concentraciones múltiples de amitraz sobre el porcentaje de eclosión de huevos provenientes de garrapatas previamente tratadas.

Cuadro 14. Concentraciones de amitraz calculadas mediante el análisis probit para lograr la inhibición de la eclosión en niveles de 50 %, 90 % y 99 % en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* ingurgitadas de unidades de producción de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Rancho	Pendiente ± EE	I.E. 50 % (I.C. 95 %)	I.E. 90 % (I.C. 95 %)	I.E.99 % (I.C. 95 %)
El Porvenir	—	—	—	—
La Gloria	0.31±0.11	0.53	7,406	17,654,028
4 Vientos	—	—	—	—
Esmeralda	2.36±0.23	0.034 (0.03-0.04)	0.12 (0.092-0.175)	0.33 (0.22-0.61)
El Triunfo	0.78±0.31	1.60 (0.27-3.8X10 ⁶)	70.2 (2.25-1.791X10 ¹⁴)	1,532 (12.74-3.249X10 ²⁰)

El análisis probit de inhibición de la eclosión no se pudo realizar en los ranchos El Porvenir y 4 Vientos porque durante los bioensayos, no se observó eclosión de los huevos. En los ranchos La Gloria y El Triunfo la concentración necesaria para lograr la I.E. 99 % fue de 17,654 % y 1,532 %, lo cual representa resultados que se salen de la lógica. En el rancho La Esmeralda, la concentración necesaria para lograr la I.E. 99 % fue de 0.33 %, lo que es 1.65 veces la concentración más alta de coumaphos utilizada en los bioensayos.

Los resultados de los bioensayos con las concentraciones de los distintos ixodidas para inhibir la eclosión presentaron datos inconsistentes. Lo anterior puede atribuirse a que sólo se realizó una repetición de los bioensayos para cada rancho debido al espacio limitado que estaba disponible en la incubadora en el momento que se realizaron los bioensayos. Asimismo, las pruebas biológicas se desarrollaron entre los meses de septiembre y diciembre de 2022, es decir, en la parte final del periodo de mayor dinámica poblacional de la garrapata *R. microplus*. No se trabajó antes porque en ese momento se anulaban las restricciones derivadas del COVID-19, ni se trabajó en los meses posteriores porque durante el invierno, tiende a disminuir considerablemente la población con respecto a otras estaciones del año.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

La técnica de inmersión de garrapatas adultas determinó que las concentraciones recomendadas por los laboratorios para coumaphos y cipermetrina tuvieron una eficiencia menor al 50 % en el control reproductivo de subpoblaciones de garrapatas incluidas en el estudio.

Los bioensayos con concentraciones múltiples mostraron que la concentración máxima utilizada (equivalente a cuatro veces la concentración recomendada) no logró una inhibición de la ovoposición y de la eclosión del 100 %, y sugiere que la resistencia simultánea a coumaphos, cipermetrina y amitraz está extendida en las subpoblaciones de garrapata provenientes de ranchos productores de ganado bovino de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca.

Los resultados de los bioensayos no mostraron consistencia por lo que fue imposible determinar las concentraciones necesarias para lograr una inhibición de la ovoposición y de la eclosión del 100 % en diferentes niveles.

7.2. Recomendaciones

Los resultados de inhibición de la ovoposición e inhibición de la eclosión no mostraron consistencia dentro de las poblaciones, ya que en muchos casos no hubo un comportamiento lineal dependiente de la concentración utilizada. Por ello, se recomienda repetir los bioensayos con tres o más repeticiones, para atenuar la posibilidad de los errores humanos.

Durante los bioensayos, no se pudieron realizar repeticiones debido a la cantidad limitada de hembras adultas ingurgitadas y a que se probaron tres diferentes principios activos en varias concentraciones. Una de las desventajas que tiene la técnica de inmersión de adultas es la gran cantidad de garrapatas que requiere. Asimismo, en la época en la que se llevó a cabo el estudio (septiembre a enero), coincidió con una disminución de la dinámica poblacional, por lo que no fue posible incrementar la cantidad de garrapatas muestreadas. Para eliminar estas restricciones, se recomienda realizar la medición de la resistencia mediante la técnica de inmersión de adultas, enfocándose en un principio activo en particular y realizar el muestreo entre julio y octubre, que es cuando se presenta la mayor dinámica poblacional.

8. LITERATURA CITADA

- Aguilar-Menezes E.L. 2005. Insecticidas botánicos: sus principios activos, modo de acción y uso agrícola. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 85p.
- Aguilar-Díaz H., Esquivel-Velázquez M., Quiroz-Castañeda R.E., Miranda-Miranda E., Conde-Baeye R.J.P., Cobaxín-Cárdenas M., Cossío-Bayúgar R. 2018. Comparative hemolymph proteomic and enzymatic analyses of two strains of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* ticks resistant and susceptible to ixodicides. *BioMed Research International*. DOI: [10.1155/2018/9451547](https://doi.org/10.1155/2018/9451547).
- Aguilar G., Olvera A.M., Carvajal B.I., Mosqueda J. 2018. SNPs and other polymorphisms associated with acaricide resistance in *Rhipicephalus microplus*. *Frontiers in Bioscience*. 23(1):65-82. DOI: [10.2741/4582](https://doi.org/10.2741/4582).
- Aguirre J., Sobrino A., Santamaría M., Aburto A., Román S., Hernández M. 1986. Resistencia de garrapatas en México. Seminario Internacional de Parasitología Animal. Cuernavaca, Morelos, México. pp. 282-306.
- Almazán C., Torres-Torres A., Torres-Rodríguez L., Soberanes-Cespedes N., Ortiz-Estrada M. 2016. Aspectos Biológicos de *Amblyomma mixtum* (Koch, 1844) en el noreste de México. *Quehacer Científico en Chiapas*. 11(2):10-19.
- Alonso D.M.A., Fernández S.A. 2022. *Rhipicephalus microplus*: biología, control y resistencia. Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical. 40 p. Disponible en:

https://www.fmvez.unam.mx/fmvez/centros/ceiegt/archivos/Manual_R_Microplus.pdf. Consultado en julio de 2023.

Alonso-Díaz M.A., García L., Galindo-Velasco E., Lezama-Gutierrez R., Angel-Sahagún C., Rodríguez-Vivas R.I., Fragoso-Sánchez H. 2007. Evaluation of *Metarhizium anisopliae* (Hyphomycetes) for the control of *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) on naturally infested cattle in the Mexican tropics. *Veterinary Parasitology*. 147(3-4):336-340. DOI: [10.1016/j.vetpar.2007.03.030](https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.03.030).

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):105-113. DOI: [10.4067/S0301-732X2006000200003](https://doi.org/10.4067/S0301-732X2006000200003).

Avellaneda-Bustos D.A., Barrera-González A.C., Calderón-Cárdenas L.M. 2020. Analizar mediante una revisión sistemática las alternativas de control integrado de origen biológico, frente a la resistencia a acaricidas, de garrapatas de la familia Ixodidae (*Rhipicephalus sanguineus* y *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*). Universidad Colegio Mayor de Cundimarca, 70 p. Disponible en: <https://repositorio.unicolmayor.edu.co/bitstream/handle/unicolmayor/249/Daniela%20Alejandra%20Avellaneda%2c%20Astrid%20Carolina%20Herrera%2c%20Laura%20Manuela%20Calder%c3%b3n%20%281%29.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. Consultado en agosto de 2023.

- Barker S.C., Murrell A. 2004. Systematics and evolution of ticks with a list of valid genus and species names. *Parasitology*. 129 (Suppl.):15-36. DOI: [10.1017/s0031182004005207](https://doi.org/10.1017/s0031182004005207).
- Betancur, H.O.J., Giraldo-Ríos C. 2018. Economic and health impact of the ticks in production animals. *Ticks and Tick-Borne Pathogens*. DOI: [10.5772/intechopen.81167](https://doi.org/10.5772/intechopen.81167).
- Bravo M.J, Coronado A., Henríquez H., 2008a. Susceptibilidad de larvas y adultos de *Boophilus microplus* al ixodicida coumafos en explotaciones lecheras del estado Lara, Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 26(1):41-46. Disponible en: <http://ve.scielo.org/pdf/zt/v26n1/art06.pdf>. Consultado en noviembre de 2023.
- Bravo M., Henríquez H., Coronado A. 2008b. *In vitro* efficacy of amitraz and cypermethrin on *Boophilus microplus* from dairy farms in Lara State, Venezuela. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1149:246-248. DOI: [10.1196/annals.1428.032](https://doi.org/10.1196/annals.1428.032).
- Broglio-Micheletti S.M.F., Neves-Valente E.C., De Souza L.A., Silva-Dias N., Girón-Pérez
- Carmona S.G. 2006. PH del agua para un buen efecto del garrapaticida. Disponible en: https://www.engormix.com/ganaderia/garrapatas-bovinos/agua-buen-efecto-garrapaticida_f4952/. Consultado en abril de 2024.
- Castellanos H.J.L. 2018. Manejo de predios con poblaciones de garrapata *Boophilus microplus* resistente hacia los ixodicidas y el uso de alternativas

para su control. BMeditores. Disponible en:
<https://bmeditores.mx/ganaderia/manejo-de-predios-con-poblaciones-de-garrapata-boophilus-microplus-resistente-hacia-los-ixodicidas-y-el-uso-de-alternativas-para-su-control-1803/>. Consultado en junio de 2023.

Castro M.B., Wright S.A. 2007. Vertebrate hosts of *Ixodes pacificus* (Acari: Ixodidae) in California. *Journal of Vector Ecology*. 32:140-149. DOI: [10.3376/1081-1710\(2007\)32\[140:vhoipa\]2.2.co;2](https://doi.org/10.3376/1081-1710(2007)32[140:vhoipa]2.2.co;2).

Cetrá B. 2001. Garrapata común del bovino. Sitio Argentino de Producción Animal. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/parasitarias/Bovinos_garrapatas_tristeza/53-boophilus_microplus.pdf. Consultado en mayo de 2023.

Coats J.R. 1994. Risks from natural versus synthetic insecticides. *Annual Review of Entomology*. 39(2):489-515. Disponible en: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.en.39.010194.002421>. Consultado en octubre de 2023.

Cortés-Vecino J.A. 2018. Control integrado de garrapatas y su importancia en salud pública. *Biomédica*. 38(4):452-455.

Cuore 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):13-19. Disponible en:

<http://www.scielo.edu.uy/pdf/vet/v53n205/v53n205a02.pdf>. Consultado em noviembre de 2023.

de Castro J.J., Newson R.M. 1993. Host resistance in cattle tick control. *Parasitology Today*. 9(1):13-17. DOI: [10.1016/0169-4758\(93\)90154-8](https://doi.org/10.1016/0169-4758(93)90154-8).

de la Fuente J., Rodríguez M., García-García J.C. 2000. Immunological control of ticks through vaccination with *Boophilus microplus* gut antigens. *Annals of the New York Academy of Science*. 916:617-621. DOI: [10.1111/j.1749-6632.2000.tb05347.x](https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2000.tb05347.x).

de la Fuente J., Estrada-Pena A., Venzal J.M., Kocan K.M., Sonenshine D.E. 2008. Overview: Ticks as vectors of pathogens that cause disease in humans and animals. *Frontiers in Bioscience*. 13:6938-6946. DOI: [10.2741/3200](https://doi.org/10.2741/3200). DOI: [10.2741/3200](https://doi.org/10.2741/3200).

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2012. Acuerdo por el que se establece la campaña nacional para el control de la garrapata *Boophilus spp.* Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5267408&fecha=10/09/2012#gsc.tab=0. Consultado en enero de 2024.

Domínguez-García D.I., Rosario-Cruz R., Almazán-García 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.

- Doubnia F.G. 2020. Control estratégico de Rhipicephalosis en Bovinos (Trabajo final de graduación). Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Veterinarias, 25 p.
- Drummond R.O., Ernst S. E., Trevino J.L., Gladney W.J., Graham O.H. 1973. *Boophilus annulatus* and *B. microplus*: laboratory tests of insecticides. *Journal of Economic Entomology*. 66(1):130-133.
DOI: [10.1093/jee/66.1.130](https://doi.org/10.1093/jee/66.1.130).
- Drummond, R.O.; Whetstone, T.M. 1970. Oviposition of the gulf coast tick. *Journal of Economic Entomology*. 63(5):1547-1551.
DOI: [10.1093/jee/63.5.1547](https://doi.org/10.1093/jee/63.5.1547).
- Estrada-Peña A., Venzal J.M. 2007. Climate niches of tick species in the Mediterranean region: modeling of occurrence data, distributional constraints, and impact of climate change. *Journal of Medical Entomology*. 44(6):1130-1138.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2004. Resistance management and integrated parasite control in ruminants-guidelines. Module 1: ticks: acaricide resistance: diagnosis, management and prevention. Food and Agriculture Organization. Animal Production and Health Division. Roma, Italia. pp 25-77.
- Fernandes E.K.K., Bittencourt V.R.E.P., Roberts D.W. 2012. Perspectives on the potential of entomopathogenic fungi in biological control of ticks.

DOI: [10.1016/j.exppara.2011.11.004](https://doi.org/10.1016/j.exppara.2011.11.004).

French-Constant R.H., Daborn P.J., Le Goff G. 2004. The genetics and genomics of insecticide resistance. *Trends in Genetics.* 20(3):163-170.

DOI: [10.1016/j.tig.2004.01.003](https://doi.org/10.1016/j.tig.2004.01.003).

Fragoso S.H., Soberanes C.N. 2001. Control de la resistencia a los ixodídeos a la luz de los conocimientos actuales. Memorias de XXV Congreso Nacional de Buiatría. Veracruz, Veracruz, México. Asociación Mexicana de Médicos especialistas en Bovinos, A.C. pp 40-48.

Furlong L. 1998. Poder infestante de larvas de *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) em pastagem de *Melinis minutiflora*, *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria mutica*. *Ciencia Rural*, Santa María. 28(4):635-648.

Galindo S.A.M. 2017. Susceptibilidad de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* a ixodídeos comerciales en fincas de Arcabuco y Gachantivá-Boyacá. *Cultura Científica.* (15):115-122.

Gallardo J.S., Morales J. 1999. *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae): preoviposición, oviposición, incubación de los huevos y geotropismo. *Bioagro.* 11(3):77-87.

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. UNAM. Distrito Federal, México. Serie libros. 91 p.

Guglielmo A.A., Beati L., Barros-Battesti D.M., Labruna M.B., Nava S., Venzal J.M., Mangold A.J., Szabó M.P.J., Martins J.R., González-Acuña D. 2006.

- Ticks (Ixodidae) on humans in South America. *Experimental and Applied Acarology*. 40(2):83-100.
- Guglielmone A., Robbins R.G., Apanaskevich D.A., Petney T.N., Estrada-Peña A., Horak I.G. 2010. The Argasidae, Ixodidae and Nuttalliellidae (Acari: Ixodida) of the world: A list of valid species names. *Zootaxa*. 2528(1):1-28.
- Higa L.O.S., Piña F.T.B., Rodrigues V.D.S., Garcia M.V., Salas D.R., Miller R.J., de Leon A.P., Barros J.C., Andreotti R. 2020. Evidence of acaricide resistance in different life stages of *Amblyomma mixtum* and *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) collected from the same farm in the state of Veracruz, Mexico. *Preventive Veterinary Medicine*. DOI: [10.1016/j.prevetmed.2019.104837](https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104837).
- Howe G.A., Jander G. 2008. Plant immunity to insect herbivores. *Annual Review of Plant Biology*. 59:41-66.
- Jonsson N.N., Davis R., De Witt M. 2001. An estimate of the economic effects of cattle tick (*Boophilus microplus*) infestation on Queensland dairy farms. *Australian Veterinary Journal*. 2(79):826-31.
- LeOra Software. 2004. A User's guide to probit or logit analysis. LeOra Software. CA, USA: Berkeley.
- Lepe L.M.A., Brizo-Murillo J.M. 2022. Evaluación *in vitro* de cinco ixodidas contra *Rhipicephalus microplus* en Catacamas, Olancho, Honduras. *Revista MVZ Córdoba*. DOI: [10.21897/rmvz.2463](https://doi.org/10.21897/rmvz.2463).

- Mastropaolo M., Beltrán-Saavedra L.F., Guglielmone A.A. 2014. The ticks (Acari: Ixodida: Argasidae, Ixodidae) of Bolivia. *Ticks and Tick-Borne Diseases*. 5(2):186-194.
- Mavlanov S., Gaipova M., Askarkhodjaev S., Kholov S.H., Irgashev U., Toshpulatov C.H. 2021. Applying 25% of cypermethrine against ectoparasites. E3S Web Conferences, 244. Disponible en: DOI: [10.1051/e3sconf/202124402016](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124402016).
- Membreño R.H.J., Ortiz A.D.C. 2015. Efectividad de los garrapaticidas (piretroides, amidinas, organofosforados) *in vitro* bajo las condiciones ambientales de la finca experimental “Las Mercedes”, municipio de Managua durante junio-septiembre (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Agraria, UNA. 29 p.
- Miller R.J., Davey R.B., White W.H., George J.E. 2007. A comparison of three bioassay techniques to determine amitraz susceptibility in *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae). *Journal of Medical Entomology*. 44:283-294.
- Morales S., García C.M. 2000. Metodología para la evaluación del potencial insecticida de especies forestales. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 53:787-800.
- Nava S., Mastropaolo M., Mangold A.J., Guglielmone A.A. 2013. Effect of deforestation and introduction of exotic grasses for livestock forage on the population dynamics of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari:

- Ixodidae) in northern Argentina. *Research in Veterinary Science*. 95(3):1046-1054.
- 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.
- Ortiz E.M., Santamaría V.M., Ortiz N.A., Soberanes C.N., Osorio M.J., Franco B.R., Martínez I.F., Quezada D.R., Fragoso S.H. 1995. Caracterización de la resistencia de *B. microplus* a ixodídeos en México. Memorias del III Seminario Internacional de Parasitología Animal. "Resistencia y control en garrapatas y moscas de importancia veterinaria". SAGAR-CANIFARMA-FAO-IICA-INIFAP. Acapulco, Gro., México. pp. 58-66.
- Palacios-Bautista G., Domínguez-García D.I., Ortiz-Estrada M., López-Velázquez J.C., Rosario-Cruz R. 2013. Evaluación post-vacunal de la población de garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en un rancho de Iguala, Guerrero, México. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*. 1(2):66-72.
- Palumbi S.R. 2001. Humans as the world's greatest evolutionary force. *Science*. 293:1786–1790.
- Rivera D.A., Solano O.A., Borge A.L. 2014. Efecto de caldo sulfocálcico en el control de garrapatas del ganado bovino. *Ciencia e Interculturalidad*. 15(2):146-153.
- Rivera V.G.H., Román R.A., Domínguez M.S., Muñoz M.S., Hernández B.A., Cervantez A.P., Romero S.D. 2009. Resistencia de *Rhipicephalus*

- (*Boophilus*) spp a ixodícidas en ranchos ganaderos del sur de Veracruz, México. *Revista electrónica de Veterinaria*. 14(7):1-5.
- Robles, R.J.L. 2019. Prevalencia de mastitis subclínica y factores asociados en unidades de producción de Loma Bonita, Oaxaca (Tesis de Licenciatura). Universidad del Papaloapan, Loma Bonita, Oaxaca, México. 87 p.
- Rodríguez-Pacheco J.E., Pulido-Medellín M.O., García-Corredor D.J. 2017. Resistencia *in vitro* de la garrapata *Rhipicephalus microplus* a organofosforados, piretroides y Amitraz en el Departamento de Boyacá, Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*. 58(1):17-23.
- Rodríguez-Vivas R.I., Rosado A.A., Basto E.G., García V.Z.S., Rosario C.R., Fragoso S. 2006. Manual técnico para el control de garrapatas en el ganado bovino. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Publicación Técnica No. 4. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Parasitología Veterinaria. Jiutepec, Morelos, México. 29.p.
- Rodríguez-Vivas R.I., Pérez-Cogollo L.C., Rosado-Aguilar J.A., Ojeda-Chi M.M., Trinidad-Martínez I., Miller R.J. Klafke G. 2014. *Rhipicephalus microplus* resistant to acaricides and ivermectin in cattle farms of México. *Brazilian Journal of Veterinary Parasitology*. 23(2):113–122.
- Rodríguez-Vivas R.I., Jonsson N.N., Bhushan C. 2017. Strategies for the control of *Rhipicephalus microplus* ticks in a world of conventional acaricide and macrocyclic lactone resistance. *Parasitology Research*. 117(1):3-29. DOI: [10.1007/s00436-017-5677-6](https://doi.org/10.1007/s00436-017-5677-6).

- Rodríguez-Vivas R.I., Hodgkinson J.E., Trees A.J. 2012. Resistencia a los acaricidas en *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: situación actual y mecanismos de resistencia. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 3(1):9-24.
- Rosario-Cruz R., Almazan C., Miller R.J., Dominguez-Garcia D.I., Hernandez-Ortiz R., de la Fuente J. 2009. Genetic basis and impact of tick acaricide resistance. *Frontiers in Bioscience*. 14:2657-2665.
- Rosario-Cruz R., Domínguez-García D.I., Rojas-Ramírez E., Ortiz-Estrada M., Martínez-Ibañez F. 2009. Estrategias para el control de la garrapata *Boophilus microplus* y la mitigación de la resistencia a los pesticidas. Folleto técnico No. 4. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Parasitología Veterinaria. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Jiutepec, Morelos, México. 18 p.
- Santamaría V.M. 1992. Determinación de las dosis discriminantes a tres piretroides sintéticos en la cepa *Boophilus microplus* susceptible CENAPA. Memorias del II Congreso Nacional de Parasitología Veterinaria. Veracruz, México. Del 2 al 4 de abril de 1992.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2020. Manejo de garrapaticidas y su resistencia. Disponible en: <https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/manejo-de-garrapaticidas-y-su-resistencia>. Consultado en mayo de 2023.

- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2023. Situación actual Campaña Nacional para el control de la garrapata *Boophilus* spp. Disponible en: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/situacion-actual-del-control-de-la-garrapata-boophilus-spp>. Consultado en abril de 2023.
- Singh N.K., Gelot I.S., Jyoti, Singh V., Rath S.S. 2015. Detection of amitraz resistance in *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* from North Gujarat, India. *Journal of Parasitic Diseases*. 39(1):49-52.
- Soberanes C.N., Santamaría 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.
- Sonenshine D.E., Lane R.S., Nicholson W.L. 2002. Chapter 24: Ticks (Ixodida). En: Mullen G, Durden L. *Medical and Veterinary Entomology*. Amsterdam: Elsevier Science. Pp. 517-558.
- Velazco C.E. 2021. La resistencia de las garrapatas a los ixodicidas un problema serio para la ganadería. Virbac México. Disponible en: <https://www.ganaderia.com/destacado/la-resistencia-de-las-garrapatas-a-los-ixodicidas-un-problema-serio-para-la-ganaderia>. Consultado en junio de 2023.
- Villar D., Gutiérrez J., Piedrahita D., Rodríguez-Durán A., Cortés-Vecino J.A., Góngora-Orjuela A., Martínez N., Chaparro-Gutiérrez J.J. 2016. Resistencia *in vitro* a acaricidas tópicos de poblaciones de garrapatas

Rhipicephalus (Boophilus) microplus provenientes de cuatro departamentos de Colombia. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 11(3):58-70.