



**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**  
**CAMPUS LOMA BONITA**

---

**LICENCIATURA EN ZOOTECNIA**

**RESISTENCIA DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus microplus* A LOS IXODICIDAS DE MAYOR USO EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE LA CUENCA DEL PAPALOAPAN**

**TESIS**

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

**PRESENTA**

**ZAIRA VILLA MARTÍNEZ**

**DIRECTOR**

**DR. CECILIO UBALDO AGUILAR MARTÍNEZ**

**LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO, 2024**



# Universidad del Papaloapan


|                |                                     |
|----------------|-------------------------------------|
| FECHA:         | 1 de Abril del 2024                 |
| ÁREA:          | Vice-Rectoría Académica             |
| OFICIO NÚMERO: | UNPA/VRA/101/2024                   |
| ASUNTO:        | Autorización de Impresión de tesis. |

**C. ZAIRA VILLA MARTÍNEZ  
PRESENTE:**

En base al artículo 120 del reglamento de alumnos, por medio de la presente se aprueba la impresión de la tesis titulada **“Resistencia de la garrapata *Rhipicephalus microplus* a los ixodicidas de mayor uso en unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan”** 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

  
MC. HÉCTOR LÓPEZ ARJONA  
Vice-Rector Académico.



C.e.p. Dra. Gialdis Morales Terán. Jefa de Carrera de la Lic. en Zootecia  
C.e.p. L.P. Yesenia Barrientos Arenal. Jefa del Departamento de Servicios Escolares  
C.e.p. Dr. Cecilio Ubaldo Aguilar Martínez. Director de Tesis.  
C.e.p. Archivo.

**OAXACA**

Campus Loma Bonita  
Av. Ferrocarril SN, Col. Ciudad Universitaria, Loma Bonita, Oaxaca C.P. 68400  
Tel/Fax: 01 201 372 92 39

[www.unpa.edu.mx](http://www.unpa.edu.mx)

Campus Tlaxipec  
Círculo Central N° 200, Col. Parque Industrial C.P. 68301  
Tel/Fax: 01 207 875 9240



# Universidad del Papaloapan

*Terra Liberrima Mens Aperta*

Licenciatura en Zootecnia

Oficio número JCLZ/58/2024

Asunto: Asignación de sinodales de examen profesional  
Loma Bonita, Oaxaca a 21 de marzo 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 de la egresada C. Zaira Villa Martínez, quien defenderá su trabajo de tesis titulado "Resistencia de la garrapata *Rhipicephalus microplus* a los ixodicidas de mayor uso en unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan", para obtener el título de Licenciada en Zootecnia.


**Titulares:**

Presidente: Dr. Nicolás Valenzuela Jiménez  
Secretario: Dr. Wilber Hernández Montiel  
Vocal: Dr. Cecilio Ubaldo Aguilar Martínez

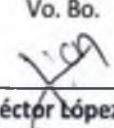
**Suplentes:**

M.C. Julián Cotera Rivera  
Dra. Amada Isabel Osorio Teran

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

  
Dra. Gladis Morales Terán  
Carrera de Lic. en Zootecnia

Atentamente

  
M.C. Héctor López Arjona  
Vice Rector Académico

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

## DEDICATORIA

Dedico este logro primeramente a Dios, por permitirme cumplir esta etapa de mi vida brindándome salud, por siempre bendecirme y darme la sabiduría, fortaleza y paciencia que necesitaba para terminar este trabajo.

A mis queridos padres, la Sra. **Agustina Martínez Vásquez** y al Sr. **Juan Villa Mayares**, por brindarme su amor incondicional y por guiarme y apoyarme en todo momento para concluir esta etapa profesional en mi vida.

A mi hermano **Erwin Villa Martínez**, por darme la motivación de estudiar una licenciatura y por el apoyo económico que me brindó. También a mi querida hermana **Zuleima Villa Martínez**, quien me guía y apoya incondicionalmente.

A los dos amores de mi vida, mi amado esposo **Pablo Alberto García Espinosa** y a mi amada princesa **Kenia Yamileth García Villa**, por apoyarme incondicionalmente, por motivarme y ser mi fortaleza cuando ya no podía más, y por regalarme un poco de su tiempo para terminar este trabajo.

A mis amigos que estuvieron a mi lado en esta parte de mi vida. A mi mejor amiga Anabel Martínez Lezama quien siempre me ha apoyado y motivado para terminar este trabajo. A mis amigos Hafid, Gumaro, José Luis, Mateo, Viviana y Aurelio †, quienes siempre estuvieron ahí, cuidándome y apoyándome. Les agradezco por ser un grupo unido, donde siempre hubo armonía y apoyo incondicional.

A mis nuevas amigas Guadalupe, Brenda y María Guadalupe, por ser mi apoyo, llenarme de alegrías y por seguirme motivando para que por fin pueda concluir esta etapa.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco inmensamente a la Universidad del Papaloapan por abrirme las puertas de esta maravillosa institución e instruirme profesionalmente.

De igual manera, agradezco a todos los profesores que me dieron clases durante los cinco años que estudié: el Dr. Nicolás, el Dr. Miguel Ángel, la Dra. Gladis, la Dra. Tania, la Dra. Cynthia, quienes me brindaron sus conocimientos para forjar mi formación académica y me guiaron para seguir adelante; pero principalmente agradezco infinitamente a mi director de tesis, el Dr. Ubaldo por guiarme en todo el transcurso de este trabajo, y sobre todo por tenerme mucha paciencia y exigirme para terminar pronto mi tesis.

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

## ÍNDICE

|  |      |
|--|------|
| <b>DEDICATORIA</b> .....   | iv   |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....   | v    |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....   | ix   |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....   | x    |
| <b>ABREVIATURAS</b> .....  | xi   |
| <b>RESUMEN</b> .....   | xii  |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | xiii |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....   | 1    |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....  | 3    |
| 2.1. Objetivo general.....   | 3    |
| 2.2. Objetivos específicos.....  | 3    |
| <b>3. HIPÓTESIS</b> .....  | 4    |
| <b>4. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....   | 5    |
| 4.1. Características generales de la garrapata <i>R. microplus</i> .....           | 5    |
| 4.1.1. Características morfológicas. ....  | 5    |
| 4.1.2. Ciclo de vida.....  | 6    |
| 4.2. Importancia de la garrapata <i>R. microplus</i> en la producción animal ..... | 10   |
| 4.2.1. Daños directos. ....  | 10   |
| 4.2.2. Daños indirectos.....   | 12   |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.3. Control de la garrapata <i>R. microplus</i> .....  | 13        |
| 4.3.1. Control químico. ....  | 14        |
| 4.3.2. Control no químico. ....   | 16        |
| 4.3.3. Control biológico.....   | 18        |
| 4.4. Resistencia de la garrapata a ixodicidas. ....   | 19        |
| 4.4.1. Factores que favorecen la aparición de resistencia. ....   | 19        |
| 4.4.2. Mecanismos de establecimiento de la resistencia.....   | 19        |
| 4.4.3. Tipos de resistencias.....   | 21        |
| 4.4.4. Fallas en el tratamiento con ixodicidas que provocan resistencia. ...  | 22        |
| <b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....  | <b>23</b> |
| 5.1. Área de estudio.....   | 23        |
| 5.2. Unidades de producción .....   | 23        |
| 5.3. Recolección e identificación de las garrapatas.....  | 24        |
| 5.4. Determinación de la resistencia de las garrapatas <i>R. microplus</i> mediante<br>la prueba del paquete larvario ..... | 25        |
| 5.5. Análisis de datos.....   | 27        |
| <b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....  | <b>29</b> |
| 6.1. Determinación de la resistencia de las garrapatas <i>R. microplus</i> mediante<br>la prueba del paquete larvario ..... | 29        |
| 6.1.1. Coumaphos.....   | 29        |

|  |           |
|--|-----------|
| 6.1.2 Cipermetrina.....  | 33        |
| 6.1.3. Amitraz.....  | 37        |
| 6.2. Determinación de la CL <sub>50</sub> CL <sub>90</sub> y CL <sub>99</sub> para cada uno de los ixodicidas<br>incluidos en el estudio ..... | 40        |
| 6.2.1. Coumaphos.....  | 41        |
| 6.2.2. Cipermetrina.....   | 43        |
| 6.2.3. Amitraz.....  | 44        |
| 6.3. Identificación de la existencia de subpoblaciones de garrapatas con<br>resistencia múltiple .....   | 46        |
| <b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>  | <b>49</b> |
| 7.1. Conclusiones .....  | 49        |
| 7.2. Recomendaciones .....   | 50        |
| <b>8. LITERATURA CITADA.....</b>   | <b>52</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Localización y número de muestras de las unidades de producción incluidas en el estudio.....  | 23 |
| <b>Cuadro 2.</b> Concentración del acaricida con respecto a la concentración recomendada por los fabricantes.....  | 26 |
| <b>Cuadro 3.</b> Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de coumaphos en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de la Cuenca del Papaloapan.....  | 30 |
| <b>Cuadro 4.</b> Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de la Cuenca del Papaloapan.....   | 34 |
| <b>Cuadro 5.</b> Mortalidad larvaria provocada por amitraz en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de la Cuenca del Papaloapan.....  | 38 |
| <b>Cuadro 6.</b> Concentraciones de coumaphos calculadas mediante el análisis probit para lograr la CL <sub>50</sub> , CL <sub>90</sub> y CL <sub>99</sub> en larvas de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan. .... | 41 |
| <b>Cuadro 7.</b> Concentraciones de cipermetrina calculadas mediante el análisis probit para lograr CL <sub>50</sub> , CL <sub>90</sub> y CL <sub>99</sub> en larvas de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan. .... | 43 |
| <b>Cuadro 8.</b> Concentraciones de amitraz calculadas mediante el análisis probit para lograr CL <sub>50</sub> , CL <sub>90</sub> y CL <sub>99</sub> en larvas de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan. ....      | 45 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> a) Estructura morfológica de la hembra adulta. b) Morfología general de una garrapata <i>R. microplus</i> .....  | 6  |
| <b>Figura 2.</b> Ciclo biológico de la garrapata <i>R. microplus</i> .....  | 7  |
| <b>Figura 3.</b> Fase parasitaria y no parasitaria de la garrapata <i>R. microplus</i> . ....   | 8  |
| <b>Figura 4.</b> Mortalidad corregida promedio causada por diferentes concentraciones de coumaphos en larvas obtenidas de siete subpoblaciones de <i>R. microplus</i> de la Cuenca del Papaloapan.....        | 31 |
| <b>Figura 5.</b> Porcentaje de ranchos en los que el coumaphos mostró efectividad a la concentración recomendada, de acuerdo con la NOM-006-ZOO-1993.....   | 32 |
| <b>Figura 6.</b> Mortalidad corregida promedio causada por diferentes concentraciones de cipermetrina en larvas obtenidas de siete subpoblaciones de <i>R. microplus</i> de la Cuenca del Papaloapan. ....    | 35 |
| <b>Figura 7.</b> Mortalidad corregida promedio causada por diferentes concentraciones de amitraz en larvas obtenidas de siete subpoblaciones de <i>R. microplus</i> de la Cuenca del Papaloapan.....          | 39 |
| <b>Figura 8.</b> Porcentaje de subpoblaciones de garrapata <i>R. microplus</i> que muestran resistencia simultánea a dos o tres grupos de ixodicidas en unidades productivas de la Cuenca del Papaloapan..... | 46 |

## ABREVIATURAS

***R. microplus***: *Rhipicephalus microplus*

**CL**: Concentración Letal

**mL**: Mililitro

**mm**: Milímetro

**µm**: Micrómetro

**cm<sup>3</sup>**: Centímetro cubico

**F1**: Primera generación Filial, descendencia o hijos

**pH**: Potencial de Hidrogeno

**L**: Litro

**UPP**: Unidad de Producción Pecuaria.

## RESUMEN

El objetivo fue caracterizar mediante la técnica del paquete larvario la resistencia de la garrapata *R. microplus* a algunos de los ixodicidas de mayor uso en unidades de producción bovina de la Cuenca del Papaloapan. Se contemplaron siete unidades de producción de las que se tomaron muestras de garrapatas ingurgitadas. Mediante la técnica del paquete larvario, se establecieron diferentes ensayos de concentraciones múltiples para evaluar la eficacia del coumaphos, cipermetrina y amitraz. El coumaphos, la cipermetrina y el amitraz en las concentraciones recomendadas por los laboratorios causaron una mortalidad larvaria promedio de 96.7 %, 40 % y 58.28 %, respectivamente. El coumaphos mostró un 86 % de efectividad en el control químico de la garrapata en los ranchos estudiados, mientras que la cipermetrina y el amitraz mostraron el 0 % de efectividad. El análisis de la CL<sub>99</sub>, mostró que el valor calculado para coumaphos fue menor a la concentración recomendada en cinco de siete ranchos, mientras que los valores para cipermetrina y amitraz fueron mayores en todos los ranchos. La resistencia simultánea a cipermetrina y amitraz se observó en seis de siete subpoblaciones de garrapata (86 %), mientras que en la restante (14 %) se observó resistencia múltiple a coumaphos, cipermetrina y amitraz. Se concluye que la cipermetrina y el amitraz tienen baja eficacia en el control químico de las subpoblaciones estudiadas de garrapata *R. microplus*, mientras que el coumaphos aún es eficaz en la mayoría de ellas.

**Palabras clave:** *R. microplus*, garrapata, control químico, resistencia, ixodicidas.

## ABSTRACT

The objective was to characterize, using the larval packet technique, the resistance of the *R. microplus* ticks to some of the most commonly used ixodicides in bovine production units in the Cuenca del Papaloapan. Seven production units were considered, from which engorged tick samples were taken. Through the larval packet technique, different multiple concentration assays were established to evaluate the efficacy of coumaphos, cypermethrin, and amitraz. Coumaphos, cypermethrin, and amitraz at concentrations recommended by the laboratories caused an average larval mortality of 96.7 %, 40 %, and 58.28 %, respectively. Coumaphos showed 86% effectiveness in tick chemical control on the studied ranches, while cypermethrin and amitraz showed 0% effectiveness. CL<sub>99</sub> analysis showed that the calculated value for coumaphos was lower than the recommended concentration in five out of seven farms, while the values for cypermethrin and amitraz were higher in all farms. Simultaneous resistance to cypermethrin and amitraz was observed in six out of seven tick subpopulations (86 %), while in the remaining one (14 %), multiple resistance to coumaphos, cypermethrin, and amitraz was observed. It is concluded that cypermethrin and amitraz have low efficacy in the chemical control of the studied subpopulations of *R. microplus* ticks, while coumaphos is still effective in most of them.

**Keywords:** *R. microplus*, tick, chemical control, resistance, ixodicides.

## 1. INTRODUCCIÓN

La garrapata *R. microplus* es el ectoparásito más importante del ganado bovino en zonas tropicales y subtropicales del mundo. Este parásito afecta de manera negativa el bienestar y la salud de las poblaciones bovinas, lo que conlleva a pérdidas económicas considerables dentro de las unidades de producción (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2017).

Entre los daños directos que causa la garrapata *R. microplus* en los bovinos, sobresale su capacidad para alimentarse de sangre. Una garrapata adulta puede ingerir entre 2 y 3 mL de sangre durante toda su vida; cuando la carga de garrapatas sobrepasa las 20-30 garrapatas por animal, se produce anemia (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006). Se ha calculado que por cada garrapata que parasita a un bovino, hay una reducción de 1 g en la ganancia de peso y 8.9 mL en la producción de leche (Rodrigues y Leite, 2013). Otros daños que ocasionan las garrapatas son una menor eficiencia reproductiva y lesiones en la piel que pueden ocasionar la aparición de miasis (Alonso-Díaz *et al.*, 2006). Entre los daños indirectos que causan, sobresale su participación como vector de enfermedades de importancia en la ganadería bovina, como la babesiosis y anaplasmosis (Linares-Villalba, 2010). Además, su presencia incrementa los costos de producción debido a la aplicación de compuestos químicos utilizados para su control (Porto *et al.*, 2011).

El control de la garrapata *R. microplus* se ha conseguido gracias a productos químicos denominados acaricidas. Los grupos de acaricidas más utilizados en

México son los organofosforados, amidinas, piretroides, lactonas macrocíclicas, fenilpirazolonas e inhibidores del desarrollo (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2012). En un principio, los productos utilizados mostraron alta eficacia. Sin embargo, su uso extensivo e irracional provocó la aparición de resistencia en la garrapata. En este sentido, las subpoblaciones de garrapatas han mostrado mayor grado de resistencia a los organofosforados, piretroides y amidinas, debido a que son los productos que más se han utilizado para su control en México (Aguilar, 2018). Así, en 1981 se reportó el primer caso de resistencia a organofosforados en Veracruz (Mangold *et al.*, 2004). Posteriormente, en la región del Golfo de México y Chiapas se detectó la resistencia a piretroides en 1990 (Santamaría, 1992; Ortiz *et al.*, 1995). En 2002, se informó el primer caso de resistencia de las garrapatas a amidinas en Tabasco (Soberanes *et al.*, 2002).

La Cuenca del Papaloapan no ha escapado al fenómeno de resistencia de la garrapata *R. microplus* a los organofosforados, piretroides y amidinas. Los ganaderos han informado sobre la baja eficacia de estos productos químicos. Sin embargo, no se han realizado estudios científicos para comprobarlo. Por ello, es importante determinar el estado actual de la resistencia de la garrapata *R. microplus* en la región para identificar los grupos químicos que aún muestran eficacia y establecer estrategias que retrasen el desarrollo de la resistencia en las subpoblaciones de garrapatas. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es caracterizar la resistencia de la garrapata a *R. microplus* a organofosforados, piretroides y amidinas en unidades de producción bovina de la Cuenca del Papaloapan.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Caracterizar mediante la técnica del paquete larvario, la resistencia de la garrapata *R. microplus* a algunos de los ixodicidas de mayor uso (coumaphos, cipermetrina y amitraz) en unidades de producción bovina de la Cuenca del Papaloapan.

### **2.2 Objetivos específicos**

Cuantificar la mortalidad larvaria ocasionada por diferentes concentraciones de los ixodicidas utilizados en este estudio.

Determinar la concentración letal al 50 % (CL<sub>50</sub>), 90 % (CL<sub>90</sub>) y 99 % (CL<sub>99</sub>) para cada uno de los ixodicidas incluidos en el estudio.

Identificar si existe resistencia múltiple en las subpoblaciones de garrapata incluidas en el estudio.

### **3. HIPÓTESIS**

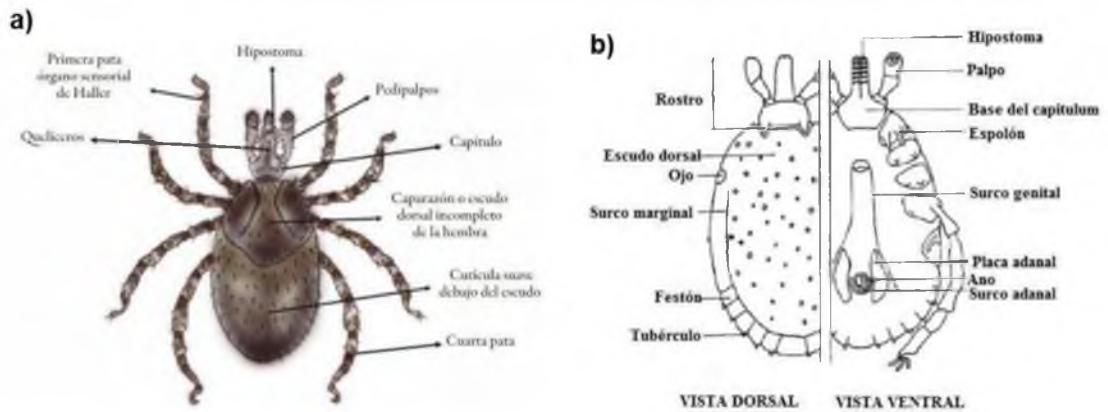
Las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* provenientes de las unidades de producción bovina de la Cuenca del Papaloapan, muestran resistencia individual o múltiple al coumaphos, cipermetrina y amitraz.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Características generales de la garrapata *R. microplus*

La garrapata *R. microplus* es un ectoparásito de los bovinos que pertenece a la clase arácnida y está presente en los climas tropicales y subtropicales del mundo (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2017). Las garrapatas afectan el bienestar de los animales, causan la disminución de los parámetros productivos y provocan signos de enfermedad que pueden culminar con la muerte. Por tal motivo, es importante reconocerlas morfológicamente y conocer los detalles de su ciclo de vida, con el fin de diseñar estrategias adecuadas en su control.

**4.1.1. Características morfológicas.** La garrapata *R. microplus* pertenece a la familia Ixodidae y se caracteriza por presentar un escudo dorsal, distintivo de las garrapatas duras. Los individuos adultos son de color verde olivo a gris azulado, tienen forma oval, con una cutícula dura brillante y arrugada. Las hembras miden de 10-12 mm y el macho entre 3-4mm (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2005). El escudo cubre totalmente la superficie dorsal de los machos, mientras que en las hembras está incompleto. Lo anterior, permite que el abdomen de las hembras adultas pueda agrandarse lo suficiente para albergar una gran cantidad de huevos y hasta 2 cm<sup>3</sup> de sangre (Treviño, 2013). De manera macroscópica, se puede identificar un capitulum que contiene su aparato bucal, conformado por un par de palpos con cuatro artejos, un par de quelíceros para rasgar la piel y un hipostoma (Figura 1) con varias hileras de dientes curvos para anclarse en la piel del hospedador (Estrada-Peña, 2015).



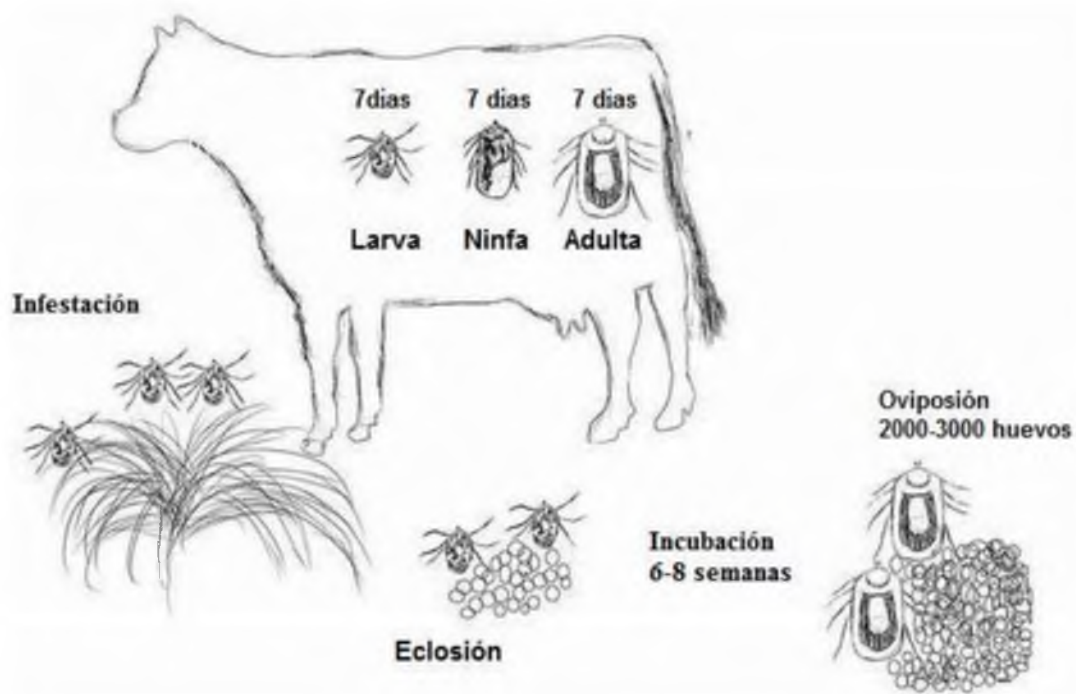
**Figura 1.** a) Estructura morfológica de la hembra adulta. b) Morfología general de una garrapata *R. microplus*. Fuente: Polanco-Echeverry y Ríos-Osorio (2016).

**4.1.2. Ciclo de vida.** Las garrapatas de la especie *R. microplus* presentan cuatro estadios los cuales son huevo, larva, ninfa y adulto. Bajo un ambiente idóneo, pueden completar su ciclo en un periodo tan corto como 21 días (Metcalf y Flint, 1982).

Los huevos de *R. microplus* miden aproximadamente 554  $\mu\text{m}$  de largo por 409  $\mu\text{m}$  de ancho, y tienen un peso aproximado de 51.76  $\mu\text{g}$ . Son de forma esférica y presentan un color café rojizo (Gallardo y Morales, 1999). Las larvas son conocidas comúnmente como pinolillos. Cuando emergen del huevo su color es ámbar y con el paso de los días cambia a rojo oscuro (Estrada-Peña, 2015). Su forma es ligeramente oval y tienen tres pares de patas. Miden aproximadamente 0.50 mm de largo y 0.40 mm de ancho (Metcalf y Flint, 1982). Las ninfas presentan ocho pares de patas y al igual que las larvas son de color café rojizo. Los adultos tienen una cutícula dura brillante y arrugada, muestran un color verde

olivo a gris azulado y ovalados. La hembra mide de 10-12 mm y el macho entre 3-4mm (Rojas, 1978).

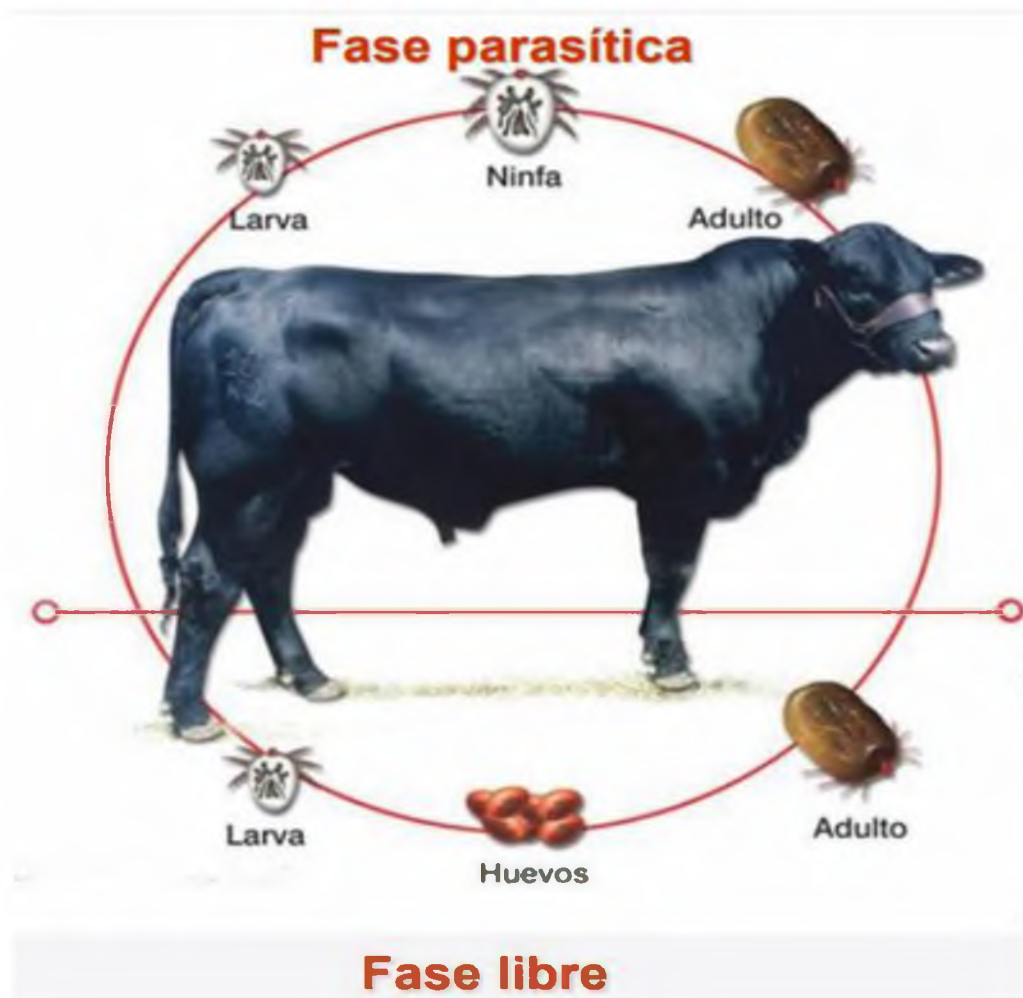
*R. microplus* es una garrapata que sólo infesta a un animal durante toda su vida. Su ciclo presenta tres fases; fase parasitaria, fase no parasitaria y fase de encuentro (López-Arias *et al.*, 2014; Figura 2).



**Figura 2.** Ciclo biológico de la garrapata *R. microplus*. Fuente: Albán (2016).

**4.1.2.1. Fase parasitaria.** Inicia cuando la larva sube al hospedador, se adhiere al huésped e inicia la ingurgitación (Figura 3). Las zonas anatómicas más comunes de infestación son el pabellón auricular, la ubre y la tabla del cuello (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2005). En un lapso mínimo de 21 días (bajo condiciones

idóneas para el desarrollo del ciclo), las garrapatas llevan a cabo un proceso de metamorfosis de larva a ninfa y posteriormente de ninfa a adulta, para diferenciarse en macho o hembra (Polanco-Echeverry y Ríos-Osorio, 2016). Cuando las hembras copulan con los machos, aproximadamente en el día 17 del ciclo, quedan grávidas y caen al suelo para comenzar la siguiente fase.



**Figura 3.** Fase parasitaria y no parasitaria de la garrapata *R. microplus*. Fuente: Polanco-Echeverry y Ríos-Osorio, 2016.

**4.1.2.2. Fase no parasitaria o de vida libre.** Esta fase abarca desde que la hembra repleta de sangre se desprende del hospedero para ovopositar hasta la aparición de las larvas en la vegetación (Figura 3). Puede durar de 35-90 días aproximadamente (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2005) y comprende seis periodos de desarrollo; preovoposición, ovoposición, postpostura, incubación, eclosión y larva de vida libre (Leal *et al.*, 2018).

En la **preovoposición** la garrapata repleta de sangre se desprende del hospedero y cae al suelo en busca de un lugar oscuro y húmedo para ovopositar. Este periodo dura de dos a cuatro días en verano y de 20 a 23 días en invierno (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2005). La **ovoposición** dura aproximadamente 5-15 días y comienza desde la postura del primer hasta el último huevo. Las hembras ovopositan entre 2,500-3,500 huevos (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2005; Inifap, 2006). La **postpostura** es el período entre la postura del último huevo hasta la muerte de la garrapata. Tiene una duración aproximada de entre 5 y 15 días (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2011). La **incubación** abarca desde el inicio de la ovoposición hasta la emergencia de las larvas (Rojas, 1978). Dura aproximadamente de seis y ocho semanas y depende de las condiciones ambientales, tales como temperatura, humedad y época del año (Álvarez *et al.*, 2003). Las condiciones óptimas donde se obtienen el mayor porcentaje de eclosión van de los 24.9 °C a 35 °C, con una humedad relativa de 80-90 %. En condiciones controladas en laboratorio el porcentaje de eclosión es mayor al 80 % (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006).

En el periodo de **larva de vida libre**, las larvas suben a lo más alto de la vegetación en busca de un hospedero. El tiempo de vida de las larvas en el

ambiente es de 10 a 70 días en verano y de 250 días en el resto del año. En condiciones controladas de laboratorio, una larva puede sobrevivir de 180-300 días (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2005).

**4.1.2.3 Fase de encuentro.** Es el proceso de transferencia de la larva desde la vegetación al hospedero. Este encuentro está integrado por dos fases, la fase pasiva y la fase de búsqueda.

La **fase pasiva** dura de cuatro a seis días. En ella, las larvas adquieren la habilidad necesaria para resistir los cambios ambientales (Rojas, 1978). En la **fase de búsqueda**, las larvas se fijan al hospedero para continuar su ciclo, o bien, son rechazadas y caen al suelo (Rojas, 1978).

## **4.2. Importancia de la garrapata *R. microplus* en la producción animal**

La garrapata *R. microplus* es importante en la ganadería bovina porque provoca pérdidas económicas anuales de 2.5 billones de dólares en países con clima tropical y subtropical (Suarez *et al.*, 2007). En México, se calcula que las pérdidas ascienden a 573.6 millones de dólares por año (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2007). A nivel de las unidades de producción, los daños provocados por *R. microplus* se clasifican como directos e indirectos.

**4.2.1 Daños directos.** No todas las infestaciones con *R. microplus* tienen un efecto negativo en el animal. Se ha calculado que los daños comienzan a manifestarse cuando hay más de 40 garrapatas ingurgitadas por animal (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2007).

Cuando la garrapata infesta a un bovino, comienza a causar un alto grado de estrés y disminuye significativamente su bienestar. Los animales afectados cambian su comportamiento, volviéndose más nerviosos a consecuencia del prurito e irritación que sufren, destinando menos tiempo a la ingestión de alimento (Jeremías, 2003). Se ha demostrado que los animales infestados por *R. microplus* reducen su consumo de alimento con respecto a aquellos que no están infestados (4.37 vs 5.66 kg de alimento consumido; Rodríguez-Vivas *et al.*, 2005, Jonsson, 2006). Por otra parte, el estrés también causa una depresión del sistema inmune, propiciando que los animales se vuelvan más susceptibles a otras enfermedades.

Las garrapatas son parásitos que se alimentan de la sangre de los animales que infestan durante toda la fase parasitaria de su ciclo de vida. Una de las principales manifestaciones clínicas de la infestación con garrapatas es la anemia. Se ha estimado que una garrapata adulta ingurgitada puede ingerir entre 2 y 3 mL de sangre durante toda su vida, lo que provoca que por cada garrapata que parasita a un bovino, hay una pérdida de un gramo diario de peso vivo y 8.9 mL en la producción de leche (Rodrigues y Leite, 2013).

Además de alimentarse de sangre, las garrapatas son reconocidas por la acción tóxica que provocan en sus huéspedes. Al morder a sus huéspedes para alimentarse, inoculan toxinas contenidas en su saliva. Las toxinas tienen diferentes efectos dentro del organismo animal. Así, pueden bloquear la acción de la acetilcolina y ocasiona una parálisis flácida aguda con trastornos en la visión y síndromes atáxicos (Florin.Christensen y Farber, 2008). Asimismo, las toxinas

pueden causar vasodilatación, interfiriendo con la coagulación y disminuyendo la velocidad de cicatrización. Lo anterior es especialmente importante en las heridas en la piel causadas por la acción traumática de las garrapatas, ya que las heridas provocadas por sus mordeduras predisponen a la aparición de miasis y con ello se reduce la calidad de los cueros (Florin.Christensen y Farber, 2008). Castellanos (1998), reportó que en México las pérdidas económicas asociadas a las picaduras de garrapata ascendieron a más de 47 millones de dólares al año. Por otra parte, las infestaciones por garrapatas afectan de manera negativa los parámetros reproductivos y retrasan la llegada a la madurez sexual, provocan abortos en el último tercio de gestación, disminuyen hasta 15 % la tasa de gestación e incrementan el intervalo entre partos (González, 2009).

**4.2.2 Daños indirectos.** Los daños indirectos de la garrapata *R. microplus* están asociados a su participación como vector en la transmisión de enfermedades hemolíticas como la anaplasmosis y la babesiosis bovina (Quiroz, 2005). Estas enfermedades son de curso agudo y en el peor de los casos causan la muerte del animal, lo que también conlleva pérdidas económicas (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006). Estas enfermedades son muy importantes en las zonas tropicales del mundo. Gracia (2011), reportó que, en México, las pérdidas económicas asociadas a la anaplasmosis y babesiosis bovina ascendieron a 48 millones de dólares anuales.

Otras formas de daño indirecto ocasionados por *R. microplus* son las manifestaciones clínicas como la parálisis flácida aguda ocasionada por la holociclotoxina, o bien, la presencia de miasis (Alban, 2016). A todo esto, también

hay que agregar las pérdidas monetarias relacionadas con el control químico de las garrapatas, el gasto de medicamentos para tratar las enfermedades que transmite las garrapatas, el costo del equipo o baños que se construyen para controlar la garrapata, entre otros (Castellanos, 2018).

### **4.3 Control de la garrapata *R. microplus***

El control de garrapata es una práctica que se debe realizar forzosamente en el manejo rutinario de la ganadería de pastoreo. La infestación por garrapatas es muy frecuente en la zona tropical y subtropical porque en estas zonas las lluvias abundantes, la alta humedad y el clima cálido son condiciones óptimas para que se desarrollen varias generaciones de garrapatas por año (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006). Para lograr el control de la garrapata, se han empleado tres diferentes estrategias de control: biológico, químico y no químico. Estas estrategias se pueden aplicar a la fase de vida libre (quema o inundación de pastizales y descanso de los potreros) o la fase parasitaria (aplicación de sustancias químicas, vacunas). Esta última estrategia es la que se ha utilizado más en el control de la garrapata *B. microplus* (Treviño, 2013).

A nivel de campo, el control de *R. microplus* se basa principalmente en el uso de Ixodidas. Sin embargo, su uso irracional ha propiciado la aparición de garrapatas resistentes a los mismos. En este sentido, se han aplicado alternativas de control que incluyen modificaciones a las prácticas de manejo en

los animales, selección de razas resistentes a las garrapatas, uso de extractos de plantas, manejo de pastizales, vacunación y control biológico.

**4.3.1. Control químico.** El uso de productos químicos es el método más utilizado para el control de las garrapatas. Los diferentes principios activos actúan de diferente manera, ya sea interfiriendo con la actividad del sistema nervioso del parásito o inhibiendo la formación del exoesqueleto de quitina. Actualmente, en México se utilizan seis grupos de ixodicidas: organofosforados, amidinas, piretroides, lactona macrocíclicas, fenilpirazolonas e inhibidores del desarrollo (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2010). Los ixodicidas pueden ser aplicados mediante baños de inmersión, baños de aspersion, bolos intrarruminales, aretes, a través de inyecciones sistémicas y de forma epicutánea o derrame dorsal (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006). A pesar de que en el mercado existe muchas opciones comerciales para el control de la garrapata, existen algunas limitantes de uso, principalmente relacionadas con la aparición de resistencia, el impacto ambiental que genera el producto utilizado y las restricciones de uso en la producción de carne o leche (Campos-Pereira *et al.*, 2008).

**4.3.1.1. Organofosforados.** Derivan del ácido fosfórico. Son llamados ixodicidas de contacto, ya que para actuar necesitan absorberse a través de los lípidos del caparazón y piel de la garrapata (Treviño, 2013). Posteriormente, se acumulan en el tejido adiposo, de donde se liberan paulatinamente a la sangre y permanecen de cuatro a ocho días en el organismo del huésped donde ejercen su efecto residual. Su mecanismo de acción es inhibir la actividad de la enzima acetilcolinesterasa, provocando trastornos nerviosos y

la muerte de la garrapata (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006). Los principios activos de mayor uso en este grupo son el clorfenvinfos, clorpirifos, coumaphos y diazinon.

**4.3.1.2. Piretroides.** Son insecticidas sintéticos y su mecanismo de acción consiste en impedir el cierre de los canales voltaje dependientes de sodio, lo que provoca que la célula nerviosa quede permanentemente despolarizada (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006). Lo anterior produce un bloqueo de la actividad motriz causando incoordinación, irritabilidad, parálisis, letargo y muerte del parásito. Los piretroides tienen un efecto residual de 15 días y los principios activos más utilizados son la cipermetrina, deltametrina y flumetrina (Treviño, 2013).

**4.3.1.3. Amidinas.** Son moléculas con actividad de contacto contra las garrapatas, ácaros y piojos. Su mecanismo de acción consiste en inhibir a la octopamina, lo cual provoca hiperexcitabilidad, parálisis y muerte del parásito (Treviño, 2013). En consecuencia, las garrapatas no se puedan fijar en su huésped y se sueltan antes de morir (Miller *et al.*, 2007). El principio activo de mayor uso en este grupo es el amitraz.

**4.3.1.4. Lactonas macrocíclicas.** Son utilizadas para combatir parásitos internos y externos. Inhiben la liberación del ácido gamma aminobutírico (GABA) del sistema nervioso de las garrapatas. Su mecanismo de acción consiste en abrir los canales de cloruro en la conexión postsináptica y permitir el flujo de iones, produciendo parálisis y muerte del parásito hematófago. Su tiempo de retiro es de 30-45 días dependiendo del fármaco aplicado. Existen

dos grupos; las avermectinas que incluyen avermectina, ivermectina, doramectina y eprinomectina; el otro grupo está constituido por las milbemicinas, cuyo principal representante es la moxidectina (Rodríguez- Vivas *et al.*, 2006).

**4.3.1.5. Fenilpirazolonas.** Bloquean el flujo de los iones de cloro mediante la acción del neurotransmisor GABA en las neuronas en el sistema nervioso central. Su tiempo de retiro es de 100 días. El fipronil es el principio activo representativo de este grupo. Se administra por vía pour on (epicutanea), lo que permite que penetre sobre la cutícula del parásito (Treviño, 2013).

**4.3.1.6. Inhibidores del desarrollo.** Son inhibidores de la síntesis de quitina, el componente principal de su exoesqueleto. Por lo tanto, impiden la formación de la cutícula del ectoparásito. Evitan que el ciclo biológico se desarrolle debido a que no permiten la maduración de huevos, larvas y ninfas. Su efecto residual tarda seis semanas, y el principio activo utilizado es el fluazuron (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2010).

**4.3.2. Control no químico.** Está compuesto por todas aquellas acciones que no involucran el uso de sustancias químicas:

**4.3.2.1. Resistencia genética del hospedero.** Las razas de ganado *Bos indicus* tienen mayor resistencia natural a las garrapatas que las razas *Bos Taurus* ya que tienen un mayor grosor de piel, lo que causa que presenten entre 10-20 % de menos garrapatas (Jonsson, 2006).

La resistencia del ganado bovino se puede lograr con el cruzamiento de animales que contengan un menor número de garrapatas con otros que tengan las mismas

características o introduciendo sangre cebú en el hato (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2005). Sin embargo, en el ganado destinado a la producción de leche, no es recomendable la cruce con razas cebuinas porque disminuye la producción. Si se quiere que la resistencia a las garrapatas predomine sobre las otras características, se recomienda que las cruces no sobrepasen el 50 % de sangre de *Bos indicus* (F1) (Garza, 2007).

**4.3.2.2. Vacunas.** Se utilizan para desarrollar la protección inmunológica del hospedero contra las garrapatas. Casi todas las vacunas contienen el antígeno Bm86, el cual es obtenido a partir de los intestinos de la garrapata. La aplicación de vacunas disminuye el número de garrapatas hembras adultas ingurgitadas y su capacidad de reproducción. (De la Fuente *et al.*, 2003).

El mecanismo de acción de la vacuna consiste en generar anticuerpos y células sensibilizadas que actúan contra el antígeno de las garrapatas. Cuando las garrapatas se alimentan de la sangre de un animal vacunado, los anticuerpos llegan al intestino donde se unen a su molécula blanco, interfiriendo con su función biológica (Rodríguez-Valle, 2000). Actualmente se comercializa en México una vacuna contra la garrapata, cuyo esquema de aplicación contempla tres dosis en las semanas cero, cuatro y siete, posteriormente, se aplica un refuerzo a los seis meses y después la aplicación anual (Rodríguez- Valle *et al.*, 2004).

**4.3.2.3 Uso de depredadores naturales.** Existen animales depredadores de las garrapatas, tales como las garzas, pájaros, arañas, roedores, lagartijas, los cuales se pueden alimentar de las garrapatas adultas

ingurgitadas. Por otro lado, las hormigas de los géneros *Camponotus spp* y *Ectatomma spp* son capaces de alimentarse a partir de huevos, larvas, ninfas y garrapatas adultas de tamaño pequeño (Garza, 2007).

**4.3.3. Control biológico.** En el control biológico se incluyen el manejo de praderas y el uso de hongos entomopatógenos.

**4.3.3.1. Manejo de praderas.** Esta práctica se basa en el descanso de la pradera, con el fin de impedir que las larvas en su etapa de vida libre puedan encontrar a su hospedador. Como consecuencia, las larvas mueren deshidratadas (Estrada-Peña, 2015). Se ha observado que la viabilidad de las larvas disminuye drásticamente cuando el periodo de descanso es mayor a 45 días (Pavón-Leyva, 2014).

**4.3.3.2. Quema de pastizales.** Es una práctica muy común, pero peligrosa para el control de las garrapatas. El fuego afecta directamente a las garrapatas hembras y huevecillos por las altas temperaturas. Este efecto dura aproximadamente 30 meses. (Garza, 2007).

**4.3.3.3. Hongos entomopatógenos.** Se han utilizado especies de hongos como *Metarhizium anisoliae* y *Beauveria bassiana*, los cuales afectan y matan a las garrapatas y tienen una eficacia aproximada del 95 % sobre los huevos, 100 % sobre las larvas, 80 a 90 % sobre las ninfas y 78 a 80 % sobre garrapatas adultas (Alonso *et al.*, 2007).

#### **4.4. Resistencia de la garrapata a ixodicidas.**

La resistencia es un fenómeno que resulta de la exposición de las garrapatas a un ixodicida químico usado indiscriminadamente (Li *et al.*, 2007). También se define como la capacidad que adquieren las garrapatas para tolerar una concentración toxica que para otras poblaciones parasitarias serían letales (SENASICA, 2020).

**4.4.1. Factores que favorecen la aparición de resistencia.** El uso irracional de los acaricidas ha provocado la aparición de cepas de garrapatas resistentes en campo. De acuerdo con Lee *et al.* (1999), el desarrollo de la resistencia en las garrapatas es un proceso evolutivo que se presenta por selección genética y consta de tres fases. La **fase de establecimiento** consiste en la aparición del alelo de resistencia en la población de las garrapatas. Esto se da por medio de mutaciones naturales e independientes a la presión de la selección. En la **fase de desarrollo** se obtiene un incremento en el número de garrapatas resistentes que ocurre por la tasa de supervivencia preferencial sobre individuos susceptibles a ixodicidas. Finalmente, en la **fase de emergencia**, el alelo de resistencia ya se considera un gen común que está ampliamente distribuido en toda la población.

**4.4.2. Mecanismos de establecimiento de la resistencia.** La aparición de la resistencia a ixodicidas en una subpoblación de garrapatas puede originarse por la presencia natural de resistencia en los individuos de una población (Rosario-Cruz *et al.*, 2009). En este caso, los alelos de resistencia existen en una pequeña cantidad de garrapatas, previo a su exposición a los

ixodicidas. Cuando las garrapatas son expuestas al producto químico, los alelos de resistencia les permitirán sobrevivir a los portadores, mientras que los individuos que no los tengan, morirán (Alonso *et al.*, 2006). Otra modalidad de aparición de la resistencia se presenta cuando las subpoblaciones de garrapatas son sometidas a una alta presión de selección al exponerlas a altas concentraciones de ixodicidas que las obliga a evolucionar para adaptarse (Mangold *et al.*, 2004). Eventualmente, se desarrollará alguna mutación en el genoma de los individuos que les permitirá soportar los efectos tóxicos y sobrevivir. Las alteraciones del genoma pueden afectar el código genético, el metabolismo, incrementar los mecanismos de detoxificación o aumentar la capacidad de las capas protectoras externas de la garrapata para evitar que el acaricida les penetre (Li *et al.*, 2007).

Los individuos que logran sobrevivir, incorporarán la mutación en su material genético y la heredarán a las nuevas generaciones (FAO, 2004). Aunque la resistencia está soportada por cambios en el material genético 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, confiriendo resistencia a uno o varios grupos químicos (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2012).

A nivel fisiológico, los mecanismos de resistencia a los ixodicidas que exhiben las garrapatas consisten en la insensibilidad del sitio de acción y la detoxificación metabólica. En la insensibilidad en el sitio de acción, las mutaciones del genoma soportan la alteración de las proteínas donde se une el ixodicida, por lo que este último no puede actuar. Un ejemplo de este mecanismo se presenta en los grupos de los piretroides, donde las garrapatas resistentes modifican la estructura del canal de sodio, no permitiendo que actúe el ixodicida (Rodríguez-Vivas *et al.* 2006). La detoxificación metabólica consiste en la habilidad del organismo de la garrapata para degradar de manera enzimática la molécula del ixodicida (Treviño, 2013).

**4.4.3. Tipos de resistencias.** Los tipos de resistencias a los ixodicidas que muestra la garrapata son los siguientes

- a) Resistencia múltiple.** Las garrapatas adquieren resistencia de manera simultánea a varios grupos de ixodicidas no relacionados químicamente, aunque no hayan sido expuestos, ya que poseen varios mecanismos de resistencia en forma simultánea (Bisset, 2002).
- b) Resistencia cruzada.** Las garrapatas desarrollan resistencia a insecticidas relacionados químicamente, usando un mecanismo de detoxificación común (Lagunes y Villanueva, 1999).
- c) Resistencia cruzada negativa.** Se presenta, cuando una población resistente, regresa a una susceptibilidad cercana a la original, al aplicar otro insecticida toxicológicamente diferente (Lagunes y Villanueva, 1999).

**4.4.4. Fallas en el tratamiento con ixodicidas que provocan resistencia.** El uso inadecuado de los productos químicos para el control de las garrapatas tiene como consecuencia la aparición rápida de resistencia. Se ha determinado que el 80 % de los casos de resistencia a ixodicidas en la garrapata se deben a un uso inadecuado de los productos comerciales (SENASICA, 2020).

De acuerdo con Rodríguez-Vivas *et al.* (2006), las principales fallas en el uso de ixodicidas son:

Fallas en la preparación de la solución. En algunos principios activos como el Amitraz, se debe garantizar un pH de la mezcla entre 12 a 14, por lo que es necesario aplicar cal.

Falla en la dosificación del garrapaticida. Para solucionar esta falla, los productores deben seguir al pie de la letra las instrucciones que aparecen en el producto. Asimismo, en el baño de aspersion se debe garantizar la exposición de todas a la mezcla. Por ello, se recomienda que por cada bomba de 20 L se bañen no más de ocho animales jóvenes o cinco animales adultos (Alonso *et al.* 2006).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Área de estudio

Las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* incluidas en el presente estudio se obtuvieron de unidades de producción ubicadas en los municipios de Villa Azueta (Veracruz), Tuxtepec (Oaxaca) y Loma Bonita (Oaxaca), dentro de la región conocida como Cuenca del Papaloapan.

El clima de la región es muy variado, se encuentra un clima cálido húmedo con lluvias todo el año, cálido húmedo con abundantes lluvias en verano y semicálido húmedo (García, 2004). Presenta temperaturas que van de los 18 a los 50 °C. Tiene lluvias abundantes, el promedio anual de precipitación va entre los 2,000 y 4,500 mm anuales.

### 5.2. Unidades de producción

En el Cuadro 1 se pueden apreciar las localidades, municipios y localización de las unidades de producción que se incluyeron en el estudio.

**Cuadro 1.** Localización y número de muestras de las unidades de producción incluidas en el estudio.

| Localidad    | Municipio    | Localización           | Número de UPP muestreadas |
|--------------|--------------|------------------------|---------------------------|
| La Gloria    | Tuxtepec     | 17°54'00"N; 95°57'40"O | 1                         |
| El Porvenir  | Tuxtepec     | 18°09'50"N; 96°13'54"O | 1                         |
| El Zacatal   | Loma Bonita  | 17°56'23"N; 95°53'31"O | 1                         |
| Linda Vista  | Villa Azueta | 18°08'01"N; 95°42'3"O  | 1                         |
| San Benito   | Loma Bonita  | 18°05'59"N; 95°53'23"O | 1                         |
| Dobladero    | Villa Azueta | 18°08'01"N; 95°42'03"O | 1                         |
| Villa Azueta | Villa Azueta | 18°04'21"N; 95°42'42"O | 1                         |

UPP= unidades de producción pecuaria.

De manera general, las unidades de producción incluidas pertenecen al sistema de producción de doble propósito, que basan su alimentación de los animales en el pastoreo continuo o rotacional. En la región se presentan épocas muy marcadas de lluvias y sequía, las cuales influyen en la dinámica de infestación de la garrapata, observándose picos durante mayo y octubre (Pech-Martínez *et al.*, 2002; Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006).

Los criterios que se tomaron en cuenta para la selección de las unidades de producción serán los siguientes: que tengan un mínimo de 30 animales en su hato, que dichos animales no hayan sido expuestos a tratamiento con ixodicidas en un periodo menor de 20 días, la presencia de hembras ingurgitadas de un tamaño mayor a 8 mm y la sospecha de resistencia expresada por los dueños o encargados.

### **5.3. Recolección e identificación de las garrapatas**

La recolección de muestras se llevó a cabo de acuerdo con los lineamientos recomendados por la FAO (2004). Inicialmente, se identificaron a los animales con mayor grado de infestación y se colectaron hembras ingurgitadas de un tamaño mayor a 8 mm. De cada unidad productiva se obtuvo un mínimo de 10 hembras adultas ingurgitadas. Las garrapatas obtenidas fueron almacenadas en recipientes limpios e identificados (nombres del propietario y del rancho, lugar, fecha y hora). Los recipientes contaron con orificios de ventilación y una cámara húmeda, la cual se elaboró con una gasa humedecida. Las muestras fueron

colocadas en una hielera y transportadas hasta el Laboratorio de Sanidad Animal de la Universidad del Papaloapan, *campus* Loma Bonita. Inicialmente, se llevó a cabo la identificación de la especie mediante un microscopio estereoscópico. Posteriormente, todas las hembras se lavaron con agua destilada para eliminar residuos orgánicos. Los bioensayos se realizaron dentro de los primeros dos días posteriores a la recolección de las garrapatas.

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

Se seleccionaron cinco garrapatas adultas ingurgitadas, limpias y sin ovopositar. Cada garrapata se sujetó al fondo de una caja de Petri de 9 cm de diámetro mediante masking tape. Las garrapatas fueron incubadas por 14 días a 28°C y 90 % de humedad para permitir su ovoposición. En el día 14 de incubación, los huevos fueron recolectados y traspasados a tubos de ensaye de 150 mm de diámetro que fueron tapados con un tapón elaborado con algodón y gasas. La incubación continuó con las mismas condiciones de temperatura y humedad hasta que ocurrió la eclosión larvaria.

Para medir la resistencia a coumaphos y cipermetrina se realizó la prueba del paquete larvario, de acuerdo con las especificaciones de la FAO (2004). Se consideró como dosis discriminante aquella recomendada por el laboratorio. Se probaron diferentes concentraciones que se pueden observar en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Concentración del acaricida con respecto a la concentración recomendada por los fabricantes.

| Grupo   | Número de veces la concentración recomendada | Concentración de la dosis discriminante (%) |              |                    |
|---------|--|---|--------------|--------------------|
|         |  | Coumaphos                                   | Cipermetrina | Amitraz            |
| Testigo | 0  | 0   | 0            | —                  |
| 0.5X    | 0.5  | 0.10  | 0.02         | —                  |
| 1.0X    | 1.0  | 0.20  | 0.05         | 0.0125, 0.05, 0.2* |
| 2.0X    | 2.0  | 0.40  | 0.10         | —                  |
| 4.0X    | 4.0  | 0.80  | 0.20         | —                  |

\* No se puede calcular una dosis discriminante, por ello, se prueban tres concentraciones preestablecidas.

Los principios activos representativos de los organofosforados y los piretroides que se ocuparon en el trabajo fueron el coumaphos (líquido al 20 %) y la Cipermetrina (emulsionable al 20 %), respectivamente. Como diluyente se ocupó una mezcla de tricloroetileno y aceite de oliva en una proporción 2:1. Una vez que se obtuvo la concentración deseada, se tomó 1 mL de la solución y se aplicó a hojas de papel filtro Whatman No. 1. Posteriormente, las hojas de papel filtro se colocaron en una campana de extracción para permitir que el tricloroetileno se evapore. Las hojas de papel filtro impregnadas con el ixodicida fueron utilizadas para realizar los paquetes larvarios. Con ayuda de un pincel se colocaron aproximadamente 100 larvas de 14 días de edad en medio de dos hojas de papel filtro previamente impregnado con la concentración probada de los fármacos incluidos. Los paquetes fueron sellados por pinzas bulldog y colocados en cajas de Petri de 9 cm de diámetro. Los paquetes se incubaron durante 24 horas a 28°C y 80 % de humedad.

Pasado el tiempo de la incubación, los paquetes se abrieron y las larvas fueron

contadas en un microscopio estereoscópico. El criterio para considerar que las larvas estaban vivas fue su capacidad para caminar o mover las patas.

El amitraz (concentrado emulsionable al 12.5 %) es el principio activo representativo de las amidinas que se incluyó en este estudio. Para probarlo, se hicieron algunas modificaciones a la prueba del paquete larvario previamente descrita. Lo anterior debido a que, en el análisis probit, las cepas de garrapatas no muestran una relación lineal entre la mortalidad y la concentración logarítmica del ixodicida. Por lo tanto, no se puede señalar una dosis discriminante y en su lugar se eligieron tres concentraciones (0.2 %, 0.05 % y 0.0125 %).

El protocolo que se siguió es similar al anteriormente descrito, pero los paquetes se introdujeron en cajas de Petri plásticas, con cada concentración en una caja por separado. La exposición de las larvas al acaricida se amplió de 24 a 48 h.

## **5.5. Análisis de datos**

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

$$\% \text{ mortalidad corregida} = \frac{\% \text{ mortalidad de prueba} - \% \text{ mortalidad control}}{100 - \% \text{ mortalidad control}} \times 100$$

El valor medio para cada uno de los resultados para cada concentración (control y concentración probada) de cada acaricida, fueron ingresados al programa Polo-

Plus para realizar un análisis probit y determinaron la  $CL_{50}$ ,  $CL_{90}$ ,  $CL_{99}$ . El análisis probit consistió en utilizar los datos de las concentraciones utilizadas para determinar mediante regresión los puntos específicos de una recta. De esta manera, al ingresar los datos de los bioensayos realizados, se pudo inferir las concentraciones letales para provocar el 50 %, 90 % y 99 % de mortalidad larvaria.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

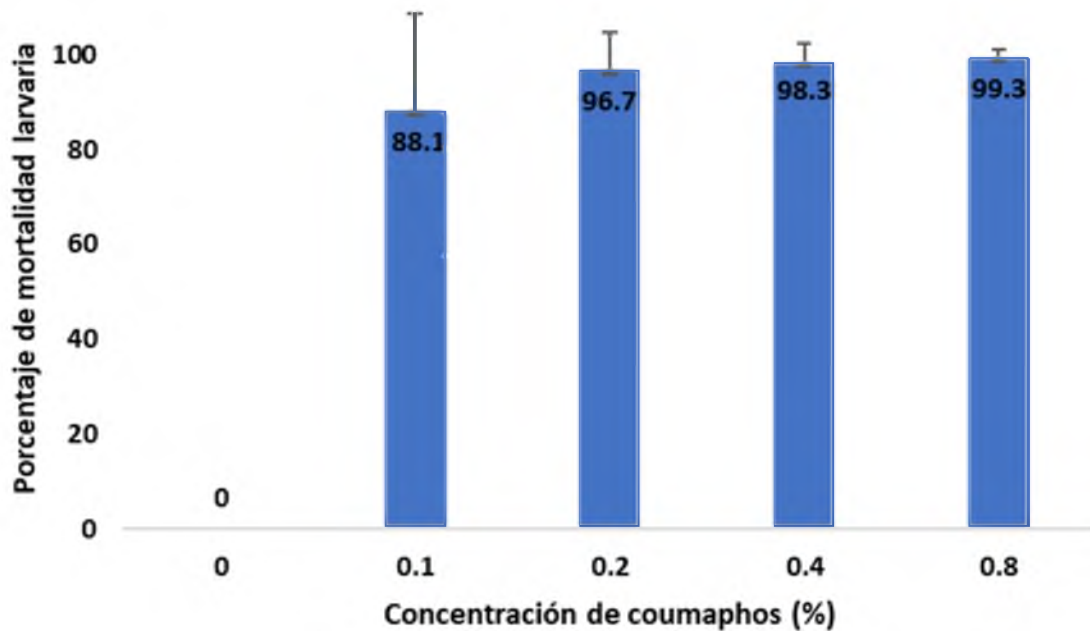
**6.1.1. Coumaphos.** La prueba del paquete larvario es la más utilizada para medir la resistencia de la garrapata *R. microplus* a los ixodicidas. En el Cuadro 3 se muestra la mortalidad inducida por diferentes concentraciones de coumahos en larvas de *R. microplus* provenientes de diferentes unidades de producción bovina de la Cuenca del Papaloapan.

El parámetro medido por concentración fue la mortalidad corregida. De acuerdo con las recomendaciones de la FAO (2004), se decidió aplicar la fórmula propuesta por Abbot porque en varios de los grupos testigo de las diferentes concentraciones, la mortalidad larvaria se ubicó entre el 5 % y el 10 %. Independientemente de los ranchos y de las concentraciones, el rango de la mortalidad larvaria corregida causada por coumaphos fue de 43-100 %, lo cual indica una alta efectividad de este principio activo en el control de la garrapata *R. microplus*. Un resultado similar fue observado por Barrón-Bravo *et al.* (2023), quienes obtuvieron muestras de garrapatas de dos poblaciones de Altamira, Tamaulipas, México, y las sometieron a diferentes concentraciones de coumaphos (0.1 %-0.4 %). Los autores observaron que, desde la concentración más baja, el coumaphos causó una mortalidad del 100 %. Sin embargo, en el estudio referido se midió la mortalidad en adultos y, en el presente, en las larvas.

**Cuadro 3.** Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de coumaphos en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de la Cuenca del Papaloapan.

| <b>Rancho</b>  | <b>Concentración (%)</b> | <b>Mortalidad corregida (%)</b> |
|----------------|--------------------------|---------------------------------|
|                | 0                        | 0                               |
| La Gloria      | 0.10                     | 43                              |
|                | 0.20                     | 79                              |
|                | 0.40                     | 89                              |
|                | 0.80                     | 95                              |
|                | 0                        | 0                               |
| El Porvenir    | 0.10                     | 84                              |
|                | 0.20                     | 100                             |
|                | 0.40                     | 100                             |
|                | 0.80                     | 100                             |
|                | 0                        | 0                               |
| Cuatro Vientos | 0.10                     | 98                              |
|                | 0.20                     | 99                              |
|                | 0.40                     | 100                             |
|                | 0.80                     | 100                             |
|                | 0                        | 0                               |
| Romero         | 0.10                     | 100                             |
|                | 0.20                     | 100                             |
|                | 0.40                     | 100                             |
|                | 0.80                     | 100                             |
|                | 0                        | 0                               |
| El Manantial   | 0.10                     | 98                              |
|                | 0.20                     | 100                             |
|                | 0.40                     | 100                             |
|                | 0.80                     | 100                             |
|                | 0                        | 0                               |
| Villa Azueta   | 0.10                     | 94                              |
|                | 0.20                     | 99                              |
|                | 0.40                     | 99                              |
|                | 0.80                     | 100                             |
|                | 0                        | 0                               |
| San Benito     | 0.10                     | 100                             |
|                | 0.20                     | 100                             |
|                | 0.40                     | 100                             |
|                | 0.80                     | 100                             |

El porcentaje de mortalidad corregida promedio obtenido en el presente estudio se puede observar en la Figura 4.

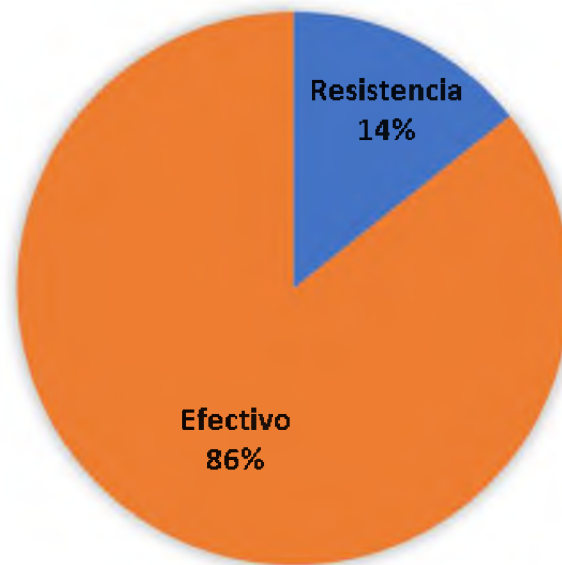


**Figura 4.** Mortalidad corregida promedio causada por diferentes concentraciones de coumaphos en larvas obtenidas de siete subpoblaciones de *R. microplus* de la Cuenca del Papaloapan.

Al analizar la mortalidad larvaria corregida, tomando como base la concentración del coumaphos recomendada por los laboratorios (0.20 %), se observó que, en seis de los siete ranchos incluidos en el estudio, se alcanzó un valor superior al 98 % (Figura 5). Esto es muy importante porque dicho valor es considerado por la NOM-006-ZOO-1993 como un límite para determinar si los productos comerciales son efectivos o no en el control de la garrapata *R. microplus*.

Este resultado es muy similar a lo observado por Soberanes *et al.* (2002), quienes muestrearon un rancho de Emiliano Zapata, Tabasco y observaron que el coumaphos causó una mortalidad larvaria de 98.6 %. Asimismo, los resultados de este estudio concuerdan con lo observado por Valdez-Espinoza *et al.* (2021), quienes muestrearon 13 ranchos en el estado de Hidalgo y registraron que, cuando el coumaphos se utilizó a la concentración recomendada, causó una mortalidad del 99.78 %.

Cuando se analizó la efectividad de la concentración recomendada por los laboratorios fabricantes, se observó que en seis de las siete unidades de producción muestreadas el coumaphos mostró alta eficacia (Figura 5).



**Figura 5.** Porcentaje de ranchos en los que el coumaphos mostró efectividad a la concentración recomendada, de acuerdo con la NOM-006-ZOO-1993.

Únicamente en la unidad de producción El Porvenir, la concentración recomendada causó el 79 % de mortalidad larvaria. De acuerdo con la NOM-006-ZOO-1993, para que un ixodicida comercial pueda considerarse efectivo, debe causar una mortalidad larvaria igual o mayor al 98 %. Este resultado fue muy similar a lo observado por Valdez-Espinoza *et al.* (2021), en el estado de Hidalgo, quienes observaron que el coumaphos fue el único principio activo en el que no se observó resistencia de la garrapata en los 13 ranchos que muestrearon. La existencia de un rancho cuya subpoblación de garrapatas mostró resistencia al coumaphos, es indicativo de que, el manejo de los productos químicos dentro de cada unidad de producción es determinante para facilitar o retrasar el fenómeno de la resistencia a ixodicidas.

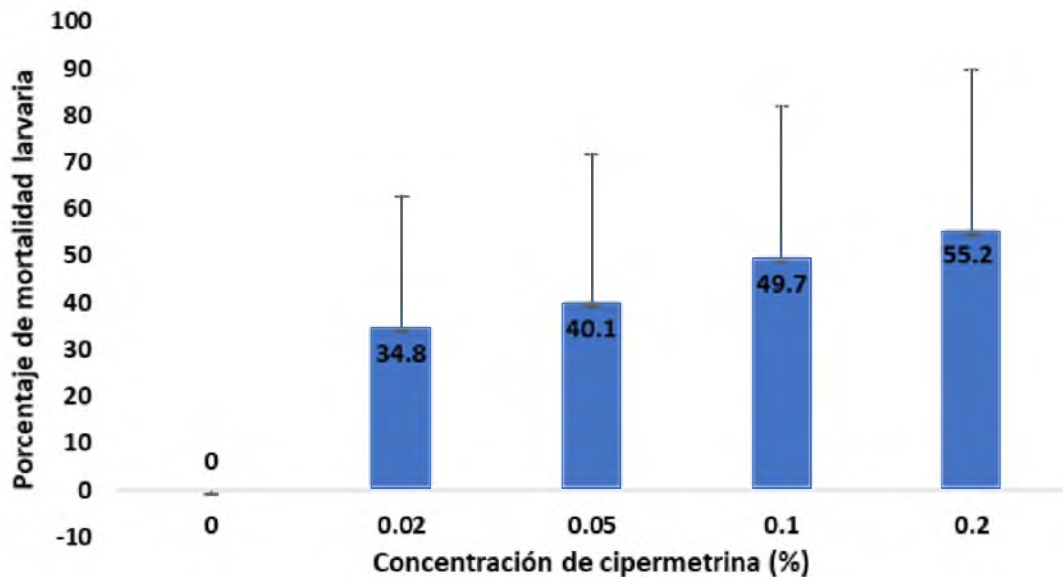
**6.1.2. Cipermetrina.** Es otro de los compuestos que se utiliza con mucha frecuencia en el control químico de la garrapata. En el Cuadro 4 se muestra la mortalidad inducida por diferentes concentraciones de cipermetrina en larvas de *R. microplus* provenientes de diferentes unidades de producción bovina de la Cuenca del Papaloapan.

A diferencia del coumaphos, la mortalidad larvaria inducida por la cipermetrina muestra una gran variabilidad entre ranchos, lo que es indicativo que en algunas unidades de producción se ha utilizado mucho y en otras poco.

**Cuadro 4.** Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de la Cuenca del Papaloapan.

| Rancho         | Concentración (%) | Mortalidad corregida (%) |
|----------------|-------------------|--------------------------|
| La Gloria      | 0                 | 0                        |
|                | 0.02%             | 0                        |
|                | 0.05%             | 0                        |
|                | 0.10%             | 0                        |
|                | 0.20%             | 1                        |
| El Porvenir    | 0                 | 0                        |
|                | 0.02%             | 69                       |
|                | 0.05%             | 69                       |
|                | 0.10%             | 81                       |
|                | 0.20%             | 84                       |
| Cuatro Vientos | 0                 | 0                        |
|                | 0.02%             | 48                       |
|                | 0.05%             | 57                       |
|                | 0.10%             | 68                       |
|                | 0.20%             | 82                       |
| Romero         | 0                 | 0                        |
|                | 0.02%             | 14                       |
|                | 0.05%             | 16                       |
|                | 0.10%             | 37                       |
|                | 0.20%             | 47                       |
| El Manantial   | 0                 | 0                        |
|                | 0.02%             | 53                       |
|                | 0.05%             | 67                       |
|                | 0.10%             | 78                       |
|                | 0.20%             | 85                       |
| Villa Azueta   | 0                 | 0                        |
|                | 0.02%             | 55                       |
|                | 0.05%             | 67                       |
|                | 0.10%             | 68                       |
|                | 0.20%             | 71                       |
| San Benito     | 0                 | 0                        |
|                | 0.02%             | 5                        |
|                | 0.05%             | 5                        |
|                | 0.10%             | 16                       |
|                | 0.20%             | 17                       |

El análisis de la mortalidad larvaria corregida, sin considerar el origen de las larvas y las concentraciones, mostró que este parámetro fue muy variable entre las unidades de producción incluidas en el estudio, ya que tuvo un rango de 0 % a 85 %, lo que indicó que la cipermetrina tuvo una baja efectividad en el control de la garrapata en todas las concentraciones utilizadas (Figura 6).



**Figura 6.** Mortalidad corregida promedio causada por diferentes concentraciones de cipermetrina en larvas obtenidas de siete subpoblaciones de *R. microplus* de la Cuenca del Papaloapan.

De acuerdo con la NOM-006-Z00-1993, para que un ixodocida se considere efectivo en el control de la garrapata *R. microplus*, debe causar una mortalidad larvaria igual o mayor a 98 %. Lo anterior permite concluir que las larvas

provenientes de todas las unidades de producción incluidas en el estudio, mostraron resistencia a la cipermetrina.

Todas las unidades de producción incluidas en el estudio mostraron resistencia a la concentración recomendada de la cipermetrina. En esa concentración, la cipermetrina provocó la mortalidad promedio del 40 %, con un rango de 0 a 69 %. Este resultado es similar a lo observado por Valdez-Espinoza *et al.* (2021), que muestrearon 13 ranchos en el estado de Hidalgo, México y observaron que la cipermetrina indujo una mortalidad promedio de 35.81 %. De la misma manera, Fragoso *et al.* (2006), evaluaron en Yucatán, México a 98 poblaciones de campo de *R. microplus* y encontraron que el 41 % de las garrapatas mostró susceptibilidad a cipermetrina. En el mismo sentido, el resultado de este estudio es inferior a lo observado por Torrijos *et al.* (2015), quienes realizaron un estudio en 26 ranchos bovinos de Panamá y observaron una mortalidad larvaria promedio inducida por la cipermetrina de 14.1 %, con un rango de 1.36 % a 47.22 %. Lo anterior es un reflejo de como el manejo al que son sometidas las unidades de reproducción repercute en el establecimiento de la resistencia.

El análisis de resistencia de la garrapata utilizando la concentración recomendada, mostró que, la cipermetrina mostró baja efectividad en el 100 % de las unidades de producción incluidas en el estudio. Este resultado concuerda con lo observado por Cuore *et al.* (2017), quienes en 116 unidades de producción observaron que el 91 % de ellas había resistencia a la cipermetrina. Además, Valdez-Espinoza *et al.* (2021), observaron que la cipermetrina no fue efectiva en ninguno de los 13 ranchos que muestrearon. Lo anterior concuerda con la

aseveración de Rodríguez-Vivas *et al.* (2006), quienes mencionan que el grupo de los piretroides es el que presenta el mayor problema de resistencia en el sureste del país.

Los resultados sobre la mortalidad causada por las diferentes concentraciones de cipermetrina, permiten concluir que existe resistencia a este ixodida en todos los ranchos incluidos en este estudio.

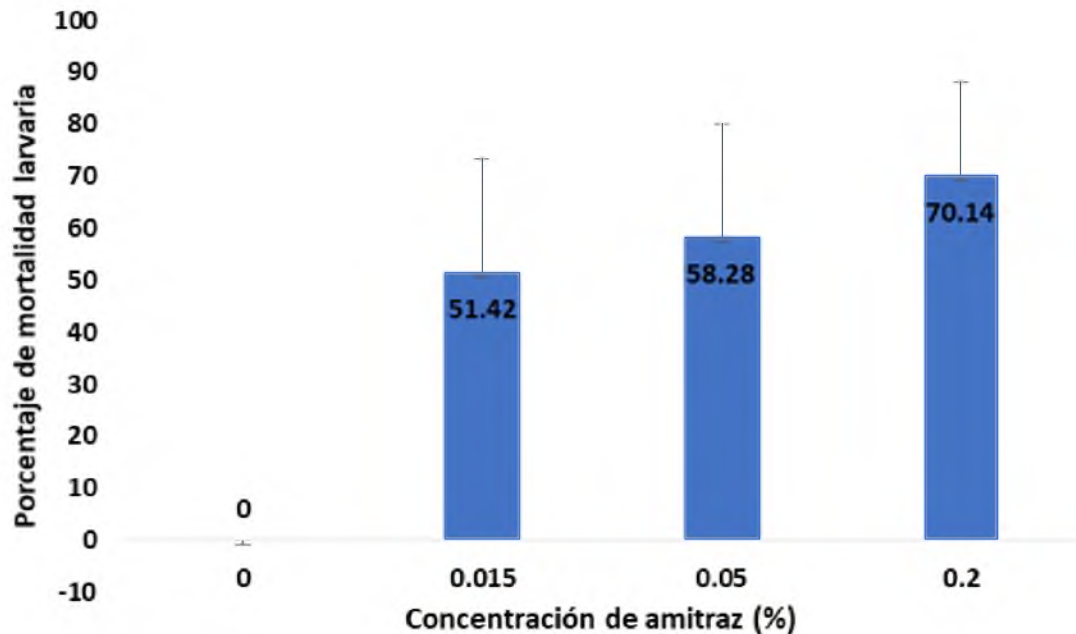
**6.1.3 Amitraz.** Después de la aparición de resistencia a los organofosforados y piretroides, el amitraz se convirtió en uno de los principios activos más utilizados en el control químico de la garrapata. En el Cuadro 5 se muestra la mortalidad causada por diferentes concentraciones de amitraz en larvas de *R. microplus* provenientes de diferentes unidades de producción bovina de la Cuenca del Papaloapan.

Sin considerar el origen de las larvas y las concentraciones a las cuales fueron sometidas, el análisis de la mortalidad larvaria corregida mostró un rango entre 21 % y 92 %, lo que indicó que aún en la concentración más alta, este compuesto tiene baja efectividad sobre el control de garrapatas de las unidades de producción estudiadas; ya que no alcanzó el límite de 98 % de mortalidad para considerarse como efectivo, de acuerdo con lo que establece la NOM-006-Z00-1993. La mortalidad larvaria provocada por el amitraz fue similar a lo observado por Schleske (2011), quien muestreo 96 unidades de producción bovina de la región centro de Veracruz y observó un rango de mortalidad larvaria de 44.7 % a 90.2 %. La similitud de resultados entre estudios indica que el fenómeno de la resistencia de la garrapata al amitraz no es exclusivo de una solo región.

**Cuadro 5.** Mortalidad larvaria provocada por amitraz en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de la Cuenca del Papaloapan.

| <b>Rancho</b>  | <b>Concentraciones (%)</b> | <b>Mortalidad corregida (%)</b> |
|----------------|----------------------------|---------------------------------|
|                | 0                          | 0                               |
| La Gloria      | 0.015                      | 21                              |
|                | 0.05                       | 33                              |
|                | 0.2                        | 42                              |
|                | 0                          | 0                               |
| El Porvenir    | 0.015                      | 57                              |
|                | 0.05                       | 60                              |
|                | 0.2                        | 69                              |
|                | 0                          | 0                               |
| Cuatro Vientos | 0.015                      | 78                              |
|                | 0.05                       | 90                              |
|                | 0.2                        | 91                              |
|                | 0                          | 0                               |
| Romero         | 0.015                      | 32                              |
|                | 0.05                       | 39                              |
|                | 0.2                        | 57                              |
|                | 0                          | 0                               |
| Manantial      | 0.015                      | 70                              |
|                | 0.05                       | 76                              |
|                | 0.2                        | 92                              |
|                | 0                          | 0                               |
| Villa Azueta   | 0.015                      | 73                              |
|                | 0.05                       | 77                              |
|                | 0.2                        | 84                              |
|                | 0                          | 0                               |
| San Benito     | 0.015                      | 29                              |
|                | 0.05                       | 33                              |
|                | 0.2                        | 56                              |

El porcentaje de mortalidad corregida promedio causado por las diferentes concentraciones de amitraz se puede observar en la Figura 7.



**Figura 7.** Mortalidad corregida promedio causada por diferentes concentraciones de amitraz en larvas obtenidas de siete subpoblaciones de *R. microplus* de la Cuenca del Papaloapan.

La figura muestra que en todas las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* muestreadas e incluidas en este estudio, existe baja eficacia del amitraz, independientemente de la concentración utilizada, registrando un 70.1 % de mortalidad larvaria en la concentración recomendada (0.2 %). Este valor es superior al observado por Valdez-Espinoza *et al.* (2021), en ranchos de Hidalgo, en los que registraron una mortalidad promedio de 54.21 %. La diferencia con este estudio se puede atribuir a las diferencias en el manejo. Además, ese estudio se desarrolló en un clima templado, mientras que, en el presente estudio, las poblaciones de garrapatas provenían de un clima cálido húmedo. El clima influye

en el control químico al que es sometida la garrapata, ya que, en climas cálidos y húmedos, el ciclo es más rápido, por lo que existe la necesidad de bañar de manera más frecuente al ganado.

El análisis de resistencia de la garrapata utilizando la concentración recomendada, mostró que, el amitraz mostró baja efectividad en el 100 % de las unidades de producción incluidas en el estudio. Este resultado difiere de lo observado por Cuore *et al.* (2017), quienes en 116 unidades de producción observaron que solo en 39 % de ellas había resistencia al amitraz. En contraparte, Valdez-Espinoza *et al.* (2021), observaron que el amitraz solo fue efectivo en dos de 13 ranchos que muestrearon (15 %). Las discrepancias de los estudios mencionados y el presente pueden indicar que en la región de la Cuenca del Papaloapan el amitraz se ha utilizado ampliamente y de manera indiscriminada, lo que ha provocado su baja eficacia en la totalidad de las unidades de producción incluidas.

## **6.2. Determinación de la CL<sub>50</sub> CL<sub>90</sub> y CL<sub>99</sub> para cada uno de los ixodídeos incluidos en el estudio**

El cálculo de la concentración letal es uno de los parámetros más importantes en la industria farmacéutica, porque permite establecer la cantidad de producto comercial que se debe utilizar para lograr el efecto deseado. En el presente estudio, la concentración letal se enfocó en el efecto *in vitro* de los fármacos sobre la mortalidad larvaria en diferentes subpoblaciones de *R. microplus*.

**6.2.1. Coumaphos.** El uso de este principio activo en México por muchas décadas, lo hace un candidato para medir la resistencia de la garrapata *R. microplus*. En el Cuadro 6, se presentan algunos parámetros calculados en el análisis probit de diferentes concentraciones de coumaphos sobre la mortalidad larvaria de diferentes subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de la Cuenca del Papaloapan.

**Cuadro 6.** Concentraciones de coumaphos calculadas mediante el análisis probit para lograr la CL<sub>50</sub>, CL<sub>90</sub> y CL<sub>99</sub> en larvas de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan.

| Rancho         | Pendiente<br>± EE | CL <sub>50</sub> (I.C. 95 %) | CL <sub>90</sub> (I.C. 95 %) | CL <sub>99</sub> (I.C. 95 %) |
|----------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| La Gloria      | 2.10±0.25         | 0.11 (0.08-0.13)             | 0.43 (0.39-0.68)             | 1.34 (0.91-2.47)             |
| El Porvenir    | 4.88±1.56         | 0.062 (0.025-0.079)          | 0.11 (0.10-0.14)             | 0.19 (0.15-0.49)             |
| Cuatro Vientos | 1.67±1.09         | 0.006                        | 0.037                        | 0.156                        |
| Romero*        | 0.00±0.00         | —                            | —                            | —                            |
| El Manantial   | 3.77±3.6          | 0.029                        | 0.064                        | 0.120                        |
| Villa Azueta   | 1.66±0.66         | 0.011 (0.00-0.04)            | 0.065 (0.003-0.105)          | 0.277 (0.177-3.040)          |
| San Benito*    | 0.00±0.00         | —                            | —                            | —                            |

\*Todas las concentraciones utilizadas tuvieron una eficacia del 100 %, por lo cual no se pudo establecer una pendiente de la recta.

El valor promedio de la pendiente de mortalidad larvaria inducida por coumaphos que se calcularon en el análisis probit fue de 2.1, con un rango de 0 a 4.88. Se observó una gran variabilidad de los valores de la pendiente, con dos subpoblaciones con valor de cero (Romero y San Benito), otras con valores bajos (Villa Azueta, Cuatro Vientos y La Gloria) y las restantes con valores altos (El Manantial y El Porvenir). Se ha determinado que cuando los valores de la pendiente son iguales o superiores a 2.5, la variabilidad de la respuesta disminuye y las distancias entre las diferentes CL disminuyen (Villar *et al.*, 2016)

En los estudios de resistencia ixodicidas, el cálculo de la CL<sub>99</sub> es especialmente importante porque permite determinar la concentración del principio activo a la que se puede alcanzar un porcentaje de mortalidad igual o superior al 99 %. Si la concentración recomendada del principio activo es capaz de alcanzar la CL<sub>99</sub>, este se consideraría efectivo en el control de la garrapata, de acuerdo con lo especificado por la NOM-006-ZOO-1993.

En concordancia con lo anterior, en el Cuadro 6 se observa que la concentración de coumaphos necesaria para inducir el 99 % de mortalidad larvaria, se mantiene por debajo de la concentración recomendada (0.20 %) en cinco de las siete subpoblaciones de garrapata evaluadas. Únicamente en la unidad de producción Villa Azueta, se requiere incrementar la concentración de 0.2 % a 0.27 % para provocar una mortalidad larvaria igual o superior a 99 %, en tanto, en el rancho la Gloria la concentración para provocar la muerte del 99 % de las larvas es de 1.34 %. La concentración de coumaphos necesaria para inducir la CL<sub>99</sub> en las poblaciones susceptibles de este estudio es mayor a lo observado en la India por Kumat *et al.* (2015), en un hato de bovinos con cruza entre *Bos taurus* y *Bos indicus*. En ese estudio, los autores observaron que la CL<sub>99</sub> de coumaphos fue una concentración de 0.131 %.

En general, se puede concluir que el coumaphos a la concentración recomendada aún es eficaz en el control químico de la garrapata en el 71.4 % (cinco de siete) de las unidades de producción incluidas en el estudio. En las dos unidades de producción restantes, la baja eficacia muestra que el principio activo no se ha utilizado de manera correcta.

Finalmente, se debe mencionar que existe una ausencia de estudios en México y el mundo, en los que se reporte el valor de la CL<sub>99</sub> inducida por el coumaphos, por lo que no se pudo establecer una discusión más extensa.

**6.2.2. Cipermetrina.** Este principio activo ha sido uno de los que más se utiliza para combatir la mosca y las garrapatas en las unidades de producción bovina. Sin embargo, también es uno de los que más resistencia ha sufrido en los últimos años por parte de la garrapata *R. microplus* (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2006; Cuore *et al.*, 2017, Valdez-Espinoza *et al.*, 2021).

En el Cuadro 7, se presentan el valor de la pendiente, la CL<sub>50</sub>, CL<sub>90</sub> y CL<sub>99</sub> calculados en el análisis probit con diferentes concentraciones de cipermetrina sobre la mortalidad larvaria de las unidades de producción incluidas en el presente estudio.

**Cuadro 7.** Concentraciones de cipermetrina calculadas mediante el análisis probit para lograr CL<sub>50</sub>, CL<sub>90</sub> y CL<sub>99</sub> en larvas de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan.

| Rancho         | Pendiente<br>± EE | CL <sub>50</sub> (I.C.<br>95 %)   | CL <sub>90</sub> (I.C.<br>95 %)   | CL <sub>99</sub> (I.C.<br>95 %)        |
|----------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| La Gloria      | 2.32±1.16         | 1.11 (0.41-3.4X10 <sup>42</sup> ) | 3.97 (0.79-1.2X10 <sup>79</sup> ) | 11.21 (1.35-2.3X10 <sup>94</sup> )     |
| El Porvenir    | 0.62±0.21         | 0.005 (0.00-0.015)                | 0.59 (0.22-44.93)                 | 28.65 (2.47-3.8X10 <sup>6</sup> )      |
| Cuatro Vientos | 1.04±0.19         | 0.031 (0.018-0.043)               | 0.52 (0.28-1.90)                  | 5.26 (1.55-74.14)                      |
| Romero         | 1.24±0.21         | 0.22 (0.16-0.40)                  | 2.41 (1.00-13.50)                 | 16.83 (4.36-246.10)                    |
| El Manantial   | 1.10±0.20         | 0.021 (0.010-0.031)               | 0.308 (0.189-0.821)               | 2.71 (0.96-24.63)                      |
| Villa Azueta   | 0.44±0.19         | 0.009 (0.000-0.026)               | 7.14 (7.95-5.3X10 <sup>12</sup> ) | 1,659.49 (15.44-9.4X10 <sup>28</sup> ) |
| San Benito     | 0.89±0.27         | 1.97 (0.59-159.41)                | 53.04 (4.91-4.1X10 <sup>5</sup> ) | 776.46 (29.93-2.6X10 <sup>8</sup> )    |

Los valores obtenidos de la pendiente de mortalidad inducida por cipermetrina, calculados mediante el análisis probit tuvieron un rango de 0.44 a 2.32, con un promedio de 1.09. En todas las subpoblaciones de garrapatas se obtuvo una

pendiente menor a 2.5, lo que significa que hay una gran distancia entre la CL<sub>50</sub>, CL<sub>90</sub> y CL<sub>99</sub>. Por otra parte, se obtuvo un promedio de 357.23 % en el CL<sub>99</sub> con un rango muy disperso que va de 2.71 % a 1,659.49 %. Lo anterior indica que las concentraciones calculadas de cipermetrina están por encima del valor de la concentración recomendada por los laboratorios (0.20 %) para inducir el 99 % de la mortalidad larvaria. Esto quiere decir que este compuesto químico no es efectivo para generar la mortalidad larvaria. Este resultado es diferente a lo obtenido por Cabrera-Jiménez *et al.* (2008), quienes evaluaron 31 ranchos bovinos en el estado de Yucatán, México y obtuvieron un rango de 0.32 % a 124.83 %, con un promedio de 9.58 %. La diferencia se puede atribuir a que en el estudio citado se evaluaron 31 ranchos, mientras que en este solo se evaluaron siete ranchos. Además, las distancias geográficas también influyen, ya que, en cada región geográfica, los productores tienen bien establecidas ciertas costumbres para realizar el manejo de los animales.

**6.2.3. Amitraz.** Este principio activo se comenzó a utilizar de manera frecuente después de la aparición de resistencia a los organofosforados y piretroides. En el Cuadro 8 se muestra el valor de la pendiente determinada por el análisis probit, así como los datos obtenidos de CL<sub>50</sub>, CL<sub>90</sub> y CL<sub>99</sub> del amitraz sobre la mortalidad larvaria en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de unidades de la Cuenca del Papaloapan.

**Cuadro 8.** Concentraciones de amitraz calculadas mediante el análisis probit para lograr CL<sub>50</sub>, CL<sub>90</sub> y CL<sub>99</sub> en larvas de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan.

| Rancho         | Pendiente<br>± EE | CL <sub>50</sub> (I.C.<br>95 %) | CL <sub>90</sub> (I.C.<br>95 %)    | CL <sub>99</sub> (I.C.<br>95 %)       |
|----------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| La Gloria      | 0.53±0.17         | 0.434 (0.171-13.07)             | 116.01 (6.06-2.8X10 <sup>8</sup> ) | 11,046 (102.83-4.3X10 <sup>12</sup> ) |
| El Porvenir    | 0.28±0.16         | 0.004                           | 136.83                             | 627,190                               |
| Cuatro Vientos | 0.53±0.20         | 0.000 (0.000-0.003)             | 0.104 (0.047-2.48)                 | 9.80 (0.875-2.4X10 <sup>8</sup> )     |
| Romero         | 0.58±0.16         | 0.11 (0.06-0.37)                | 18.42 (2.25-20,539.85)             | 1,168.33 (33.72-1.8X10 <sup>8</sup> ) |
| El Manantial   | 0.75±0.19         | 0.004 (0.000-0.009)             | 0.191 (0.098-1.047)                | 4.78 (0.925-633.7)                    |
| Villa Azueta   | 0.34±0.18         | 0.000                           | 1.603                              | 1,982.10                              |
| San Benito     | 0.64±0.16         | 0.146 (0.83-0.47)               | 14.39 (2.17-3,595.82)              | 608.55 (27.07-5.7X10 <sup>6</sup> )   |

Como se muestra en el Cuadro 8, los valores de la pendiente de mortalidad larvaria inducida por amitraz, mediante en análisis probit son muy bajos pero uniformes con un rango de 0.28 a 0.75 y un promedio de 0.52, que hay una gran variabilidad en la variable de respuesta en los bioensayos. Lo anterior también implica que hay una gran distancia entre las concentraciones letales en sus diferentes niveles.

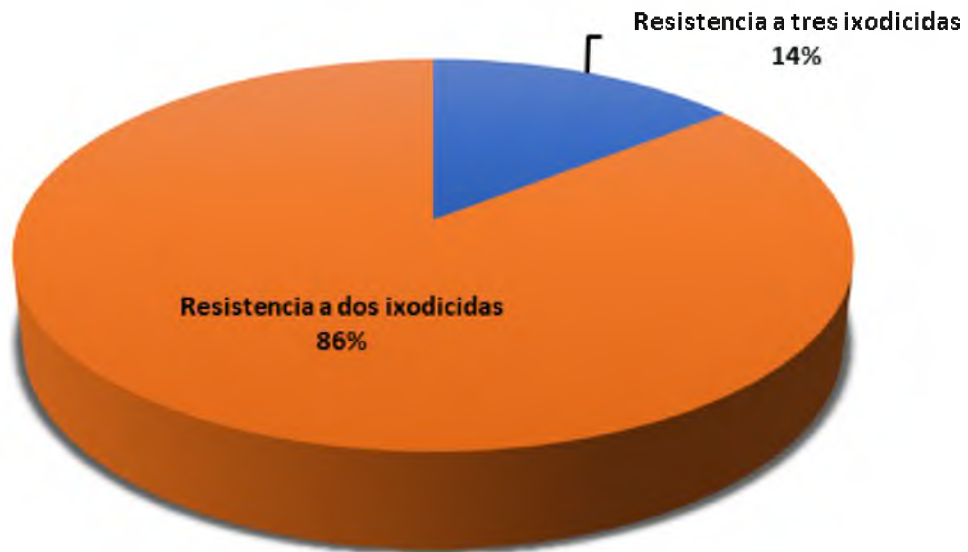
Para la CL<sub>99</sub>, se observaron valores muy diferentes entre todas las unidades de producción, teniendo un promedio de 91,715.65 % y un rango que va de 4.78 % a 627,190 %. En todos los ranchos los valores de CL<sub>99</sub> son superiores a la concentración recomendada por los laboratorios (0.025 %).

Estos resultados fueron muy diferentes y elevados a los que indicó Gutiérrez-Wong *et al.*, (2023), en un estudio realizado en Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán, donde se obtuvo un promedio de CL<sub>99</sub> de 0.019 %, esto se puede deber a que solo se muestreo un

solo rancho y en el presente estudios se muestrearon siete unidades de producción con diferente ubicación.

### 6.3. Identificación de la existencia de subpoblaciones de garrapatas con resistencia múltiple

La aparición de la resistencia simultánea de la garrapata *R. microplus* a varios grupos de ixodicidas es importante, si se considera que cada uno de ellos tiene un mecanismo de acción diferente. En la Figura 8 se puede observar el porcentaje de las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* incluidas en el estudio que fueron resistentes a dos o tres ixodicidas.



**Figura 8.** Porcentaje de subpoblaciones de garrapata *R. microplus* que muestran resistencia simultánea a dos o tres grupos de ixodicidas en unidades productivas de la Cuenca del Papaloapan.

En el presente estudio, cuando se utilizó la concentración recomendada, se observó que el 14 % y 86 % de las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* analizadas mostraron resistencia simultánea a dos y tres ixodicidas, respectivamente. Los principios activos a los que la totalidad de las subpoblaciones analizadas muestran resistencia fueron la cipermetrina y el amitraz. En tanto, sólo una de las siete subpoblaciones incluidas mostró resistencia al coumaphos (La Gloria). Este resultado muestra el mismo comportamiento que lo observado por Valdez-Espinoza *et al.* (2021), quienes evaluaron garrapatas provenientes de 13 unidades de producción del estado de Hidalgo, México, y observaron que 7.7 %, 100 % y 84.6 % de los ranchos estudiados mostraron resistencia al coumaphos, cipermetrina y amitraz, respectivamente. En el mismo sentido, Solís-Calderón y Durán-Celmo (2023), evaluaron la presencia de resistencia a ixodicidas de la garrapata *R. microplus* en ocho unidades de producción de Sucilá y Tizimín, Yucatán, y observaron que el 14 % presentó una resistencia doble a cipermetrina y amitraz, 28 % resistencia simple al amitraz y 14 % resistencia simple a la cipermetrina. En otro estudio realizado en Brasil por Klafke (2013), mostró resistencia múltiple de 96.77 % a organofosforados y amitraz.

La resistencia múltiple en una subpoblación de garrapatas, indica que las opciones para su control químico se han reducido drásticamente. Cuando un principio activo no es eficaz en el control químico de la garrapata, los productores comienzan a combinar productos comerciales, lo que lejos de aminorar el problema, lo hace más fuerte (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2007). Tomando los resultados generados en esta investigación y los presentados en los trabajos

citados, se concluye que el fenómeno de la resistencia múltiple a ixodicidas está muy extendido en las unidades de producción bovina, por lo que es importante caracterizarlo con el fin de proponer estrategias para reducirlo a nivel de campo.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

De manera general, el coumaphos provocó una alta mortalidad larvaria en las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* analizadas. En contraparte, la cipermetrina y el amitraz fueron incapaces de generar una mortalidad larvaria superior al 99 %, por lo que se considera que ya existe resistencia a estos principios activos.

En seis de las siete subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* incluidas en este estudio, la concentración recomendada por los laboratorios comerciales es suficiente para inducir la muerte de la totalidad de las larvas tratadas. En cambio, todas las subpoblaciones mostraron resistencia a cipermetrina y amitraz, al requerirse una concentración mayor a la recomendada para causar la mortalidad larvaria en niveles de 99 %.

Se determinó que existe resistencia múltiple a ixodicidas, ya que una de las siete subpoblaciones estudiadas mostró resistencia simultánea a coumaphos, cipermetrina y amitraz, mientras que las seis subpoblaciones restantes tuvieron resistencia simultánea a cipermetrina y amitraz.

La resistencia múltiple a dos o tres principios activos es la que predominó en las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* estudiadas, ya que no se detectaron casos de resistencia individual.

## 7.2. Recomendaciones

Debido al alto grado de resistencia de la garrapata *R. microplus* a cipermetrina y amitraz, se recomienda realizar bioensayos que contemplen concentraciones más altas de estos principios activos para caracterizar de una manera más precisa la magnitud de la resistencia.

Por la presencia de resistencia a cipermetrina y amitraz en el 100 % de las subpoblaciones incluidas en este estudio, se recomienda eliminar por al menos dos años estos principios activos de los programas de control químico de la garrapata, con el fin de reducir la presión de selección y dar oportunidad que los genes de susceptibilidad se vuelvan a establecer en esas subpoblaciones.

Se recomienda ofrecer a los productores capacitación del uso adecuado de los diferentes ixodicidas, para que lleven un control adecuado de la dosificación por animal y para generar un calendario de rotación de estos compuestos para prolongar la efectividad que aún sigue teniendo el coumaphos sobre la mortalidad de garrapatas, y evitar que la resistencia a amitraz se siga aumentando. Sin embargo, hay que hacer énfasis en el ixodicida de cipermetrina (Piretroides) ya que este tuvo una resistencia del 100 % en todas las unidades de producción estudiadas en esta investigación. Por esto se recomienda evitar temporalmente el uso de este principio activo en el control de la garrapata con el objetivo de permitir la dilución de los genes de resistencia.

Para disminuir la resistencia a coumaphos, se recomienda realizar un estudio más extensivo para identificar aquellas poblaciones en las que la resistencia ya

se haya establecido para ofrecer a los productores alternativas entre los grupos de ixodidas restantes.

## 8. LITERATURA CITADA

- 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*. 23:65-82.
- Albán, H.R., 2016. Estudio Piloto para la Cría y Reproducción del “Gusano Barrenador del Ganado” (GBG) (*Cochliomyia hominivorax* Coquerel, 1858), en Laboratorio del Centro Internacional de Zoonosis. (Tesis de Maestría). Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 56 p.
- 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.
- Alonso-Díaz M.A., García L., Galindo-Velasco E., Lezama-Gutiérrez R., Ángel-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):336-40. DOI: [10.1016/j.vetpar.2007.03.030](https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.03.030)
- Álvarez, V., Bonilla, R., Chacón, I. 2003. Frecuencia relativa de *Boophilus Microplus* (Acari: Ixodidae) en bovinos (*Bos taurus* y *Bos indicus*) en ocho zonas ecológicas de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 51(2):427-434.

- Barrón-Bravo, O.G., Cadena-Zamudio, D.A., Garay-Martínez, J., Arispe-Vázquez, J.L., Avilés-Ruiz, R., Garcés-García, R., Patishtan-Pérez, J. 2023. Effect of coumaphos on *Rhipicephalus microplus* and entomopathogenic nematodes in cattle production units. *Agro Productividad*. 2:1-21 DOI:[10.32854/agrop.v15i4.2593](https://doi.org/10.32854/agrop.v15i4.2593).
- Bisset, J. A. 2002. Uso correcto de insecticidas: control de la Resistencia. *Revista Cubana Medicina Tropical*. 54(3):202-219.
- Cabrera-Jiménez, D., Rodríguez-Vivas R.I., Rosado-Aguilar, J.A. 2008. Evaluación de la resistencia a la cipermetrina en cepas de campo *Boophilus microplus* obtenidas de ranchos bovinos del estado de Yucatán, México. *Técnica Pecuaria México*. 6(4):439-448.
- Campos-Pereira, M., Labruna M.B., Szabó M.P., Klafke G.M. 2008. *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. Biología, control y resistencia. *Medicina Veterinaria*. 169:7-9.
- Castellanos, J.L. 1998. Seguimiento a predios con garrapata resistente hacia los ixodicidas y alternativas para su control. Curso de diagnóstico y control de las principales enfermedades parasitarias. (Simposio de Parasitología Veterinaria). Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México. 54 p.
- Castellanos H.J. 2018. Situación actual y perspectivas de la campaña nacional contra la garrapata *Rhipicephalus* spp. Memorias del curso de capacitación para la inspección de ganado y control de la garrapata para

la movilización nacional y exportación 19, 20 y 21 de septiembre de 2018, Piedras Negras, Coahuila, México. 1-14 Pp.

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).

De la Fuente J., Kocan K.M. 2003. Advances in the identification and characterization of protective antigens for development of recombinant vaccines against tick infestations. *Expert Vaccines*. 2:583-593.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2004. Resistance management and integrated parasites control in ruminants-guidelines. Module 1: ticks: acaricide resistance, diagnosis, management and prevention. Food and Agriculture Organization. Animal Production and Health Division. Rome, 25 P.

Florin-Christensen, M., Farber, M. 2008. Garrapata de los bovinos: una amenaza de ocho patas para el ganado del NOA. *Salta Productiva*. 25: 1-6.

Fragoso-Sánchez H., Alonso-Díaz M.A., Rosario-Cruz R., Rodríguez-Vivas R.I. 2006. Resistencia de la garrapata *Boophilus microplus* a los ixodicidas. *Archivos Medicina Veterinaria*. 38(2):105-113.  
DOI: <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2006000200003>

- Gallardos J. S. y Morales J. S. 1999. *Boophilus microplus* (Acari Ixodidae): Preovoposición, ovoposición, incubación de los huevos y geotropismo. *Bioagro*. 11: 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.
- Garza E. 2007. La garrapata *Boophilus Microplus* y su manejo en la planicie Huasteca. Campo experimental sur de Tamaulipas. San Luis potosí, México. Disponible en: <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/180.pdf>. Consultado en abril de 2023.
- González J.R. 2009. Importancia de la garrapata *Boophilus spp.* en la exportación de ganado. Simposio internacional: garrapatas, Babesiosis y Anaplasmosis. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México. 72 p.
- Gracia-Moreno A.M., 2011. Enfermedades causadas por hemoparásitos en ganado bovino. *Ibercaja Agroinforma*. 74:4.
- Gutiérrez-Wong J.R., Rosado J.A., Rodríguez-Vivas R.I. 2023. First report of acaricidal efficacy from plumbagin on larvae of *Rhipicephalus microplus* and *Rhipicephalus sanguineus* resistant to conventional acaricides. *National Library of Medicine*. 255:108-632.

- Inifap (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2006. Manual técnico para el control de garrapatas en el ganado bovino. Mérida, Yucatán. Disponible en: [\(PDF\) Manual Técnico para el control de garrapatas en el ganado Bovino \(researchgate.net\)](#). Consultado en abril de 2023.
- Jeremías, X. 2003. Ixódidos y argásidos en dermatología y medicina infecciosa. Garrapatas de importancias médica y sanitaria. *Actualidad Dermatológica: Revista Científica de Dermatología Médico-Quirúrgica*. 42(11):897-914.
- Jonsson, N., 2006. The productivity effects of cattle tick (*Boophilus microplus*) infestation on cattle, with particular reference to Bos indicus cattle and their crosses. *Veterinary Parasitology*. 137:1-10.
- Klafke G., Teixeira-Torres T., Reck J., Martins J. 2013. La multiresistencia a los ixodícos y el control integral de garrapatas en Brasil. Conferencia III Simposio Internacional de Resistencia a los pesticidas en artrópodos. Ixtapa, México. Pp. 57-60.
- Kumar S., Kumar A., Nagar G., Ghosh S. 2015. Determination and establishment of discriminating concentrations of malathion, coumaphos, fenvalerate and fipronil for monitoring acaricide resistance in ticks infesting animals. *Ticks and Tick-borne Diseases* 6(2015):383–387. DOI: [10.1016/j.ttbdis.2015.03.003](#)

- Lagunes A., Villanueva-Jiménez, J.A. 1999. Toxicología y manejo de insecticidas. (Tesis de Maestría). Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 90 p.
- Leal, B., Thomas, D.B., Dearth, R.K. 2018. Population dynamics of off-host *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) larvae in response to habitat and seasonality in south Texas. *Veterinary Sciences*, 5(2):33. DOI: [10.3390/vetsci5020033](https://doi.org/10.3390/vetsci5020033).
- Lee D., Park Y., Brown M.T., Adams E.M. 1999. Altered properties of neuronal sodium channels associated with genetic resistance to pyrethroids. *Molecular Pharmacology*. 55(3):581-593.
- Li A.Y., Chen A.C., Davey R.B., Miller R.J., George J.E. 2007. Acaricide resistance and synergism between permethin and amitraz against susceptible and resistant strains of *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae). *Pest Management Science* 63(9):882-889. DOI: [10.1002/ps.1417](https://doi.org/10.1002/ps.1417).
- Linares-Villalba, S.E. 2010. Manejo integral de las garrapatas una propuesta eficiente y sostenible con el medio ambiente. *Agronomía*.16:13-21.
- López-Arias, A. 2014. Reduced efficacy of commercial acaricides against populations of resistant cattle tick *Rhipicephalus microplus* from Two municipalities of Antioquia, Colombia. 8(Suppl2):71-80. DOI: [10.4137/EHI.S16006](https://doi.org/10.4137/EHI.S16006).
- Mangold, A. Castelli, M. Nava, S. Aguirre, D. Guglielmonechi, A. 2004. Poblaciones de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*

resistentes a los piretroides en Córdoba y Salta, Argentina. *Revista Ciencias Veterinarias*. 3:55-59. DOI:[10.14409/FAVECV.V3I1/2.1405](https://doi.org/10.14409/FAVECV.V3I1/2.1405).

Metcalf, C.L., Flint, W.P. 1982. Insectos destructivos e insectos útiles, su costumbre y su control. México. Editorial Continental. 1094 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.

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. Disponible en [NORMA Oficial Mexicana NOM-006-ZOO-1993 | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](https://www.gob.mx/normas-Oficiales/norma/norma-006-zoo-1993). Consultado en febrero de 2024.

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. III Seminario Internacional de Parasitología Animal. “Resistencia y control en garrapatas y moscas de importancia veterinaria”. Acapulco, Guerrero., México. Pp. 58-66.

Pavón-Leyva J. 2014. Efecto en el ecosistema del uso de acaricidas botánicos y químicos en control de las garrapatas. *Hombre, Ciencia y Tecnología*. 18(3):50-56.

- Pech-Martínez V., Santos-Flores J., Montes-Pérez R. 2002. Función de producción de la ganadería doble propósito en la zona oriente del estado de Yucatán, México. *Técnica Pecuaria en México*. 40:187-192.
- Polanco-Echeverry D.N. y Ríos-Osorio L.A. 2016. Aspectos biológicos y ecológicos de las garrapatas duras. *Corpoica Ciencia Tecnológica Agropecuaria*. 17(1):81-95.
- Porto L.R., Jonsson N.N., D'Occhio M.J., Barendse W. 2011. Molecular genetic approaches for identifying the basis of variation in resistance to tick infestation in cattle. *Veterinary Parasitology*. 180(3-4):165-172.
- Quiroz R.H. 2005. Parasitología y Enfermedades Parasitarias de Animales Domésticos. México, D.F. Editorial Limusa. 802 p.
- Rodrigues, D.S. and Leite, R.C. 2013. Economic impact of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: estimate of decreased milk production on a dairy farm. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria Zootecnia*. 65(5):1570-1572.
- Rodríguez-Valle M., 2000. Respuesta Inmunológica contra garrapatas. *Biotecnología aplicada*. 17(4):215-220 p.
- Rodríguez-Valle M., Méndez L., Valdez M., Redondo M., Montero-Espinosa C.M., Vargas M., Cruz R.L., Barrios H.P., Seoane G., Ramírez E.S., Boue O., Vigil J.L., Machado H., Nordelo C.B., Piñeiro M.J. 2004. Integrated control of *Boophilus microplus* ticks in Cuba based on vaccination with the anti-tick vaccine Gavac. *Experimental and Applied Acarology* 34:375-382.

- Rodríguez-Vivas R.I., Cob G.L.A. 2005. Técnicas diagnósticas en parasitología veterinaria. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán. 2ª Edición. Mérida, Yucatán, México. 139 p.
- Rodríguez-Vivas R.I., Rodríguez-Arévalo F., Alonso-Díaz M.A., Fragoso-Sánchez H., Santamaría V.M., Rosario-Cruz R. 2006. Prevalence and potential risk factors for amitraz resistance in *Boophilus microplus* ticks in cattle farms in the state of Yucatan, México. *Preventive Veterinary Medicine*. 75(3-4):280-286.
- Rodríguez-Vivas R.I., Rivas A.L., Chowell G., Fragoso S.H., Rosario C.R., García Z., Smith S.D., Williams J.J., Schwager S.J. 2007. Spatial distribution of acaricide profiles *Boophilus microplus* (strains susceptible or resistant to acaricides) in south eastern México. *Veterinary Parasitology* 146:158-169.
- Rodríguez-Vivas R.I., Arieta-Román J.R., Pérez-Cogollo L.C., Rosado-Aguilar J.A., Ramírez-Cruz G.T., Basto-Estrella G. 2010. Uso de lactonas macrocíclicas para el control de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en el ganado bovino. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 42(3):115-123.
- Rodríguez-Vivas R.I., Torres J.F., Ramírez G.T., Aguilar J.A., Aguilar A.J., Ojeda M.M., Bolio M.E. 2011. Manual técnico: Control de parásitos internos y externos que afectan al ganado bovino en Yucatán, México.
- Rodríguez-Vivas R.I., Hodgkinson J.E., Tree A.J. 2012. Resistencia a los acaricidas en *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: situación actual y

mecanismos de resistencia. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 3(supl. 1):9-24.

Rodríguez-Vivas R.I., Laerte G., Pérez L.A.A, Silva V.H., Torres-Acosta J.F., Fragoso S.H., Romero S.D., Rosario C.R., Saldierna F., García C.D. 2017. Evaluación del impacto económico potencial de los parásitos del ganado bovino en México. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 18(1):61-74.

Rojas A.B. 1978. Estudio de la biología de *Boophilus Microplus* fase no parasita proveniente del estado de Morelos; en condiciones naturales y de laboratorio. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. México. 86 p.

Rosario-Cruz R., Almazán C., Miller R.J., Domínguez-García D.I., Hernández-Ortiz R., De la Fuente, J. 2009. Genetic basis and impact of tick acaricide resistance. *Frontiers in Bioscience*. 14(7):2657-2665. DOI: [10.2741/3403](https://doi.org/10.2741/3403)

Santamaría V.M. 1992. Determinación de las dosis discriminantes a tres piretroides sintéticos en la cepa *Boophilus microplus* susceptible CENAPA. II Congreso Nacional de Parasitología Veterinaria. Veracruz, México. p. 74.

Schleske-Morales I.C. 2011. Prevalencia de unidades de producción con garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* resistentes a amidinas y factores de riesgo asociados a su presentación en la región centro del

estado de Veracruz. (Tesis de Maestría). Universidad Veracruzana. Veracruz. 69 p.

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2020. Manejo de garrapaticidas y su resistencia. Disponible en: [Resistencia a los garrapaticidas | Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](https://www.gob.mx/semex/temas/resistencia-a-los-garrapaticidas). Consultado en mayo de 2023.

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.

Solís-Calderón J.J., Durán-Celmo A. 2023. Manejo del diagnóstico de resistencia de garrapatas *Rhipicephalus microplus* a ixodicidas en ranchos ganaderos del Estado de Yucatán. Consultado en febrero de 2024. Disponible en: [https://www.engormix.com/ganaderia/garrapatas-bovinos/manejo-diagnostico-resistencia-garrapatas\\_a53284/](https://www.engormix.com/ganaderia/garrapatas-bovinos/manejo-diagnostico-resistencia-garrapatas_a53284/). Consultado en marzo de 2024.

Suárez M., Méndez M., Valdez M., Moura R., Reis J., Vargas N., Ascanio E. 2007. Control de las infestaciones de la garrapata *Boophilus microplus* en la ganadería cubana y en regiones de Latinoamérica con la aplicación del inmunógeno Gavac® dentro de un programa de lucha integral. *RedEctopar*. 58:415-430.

- Torrijos, M., Álvarez-Calderón, V., Quintero-Noriega, R., Espinales, K., Rangel-Tapia, G., Quintero-Vega, N. 2015. Sensibilidad al clorpirifos y cipermetrina en la garrapata *Rhipicephalus microplus* en fincas ganaderas de Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, 22:70-77. Disponible en: <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/165>. Consultado en febrero del 2023.
- Treviño R., 2013. Evaluación de resistencia a ixodicidas y efectividad de la vacuna bm86 en el grado de infestación por garrapata *Boophilus sp.* en las razas de ganado bovino Charolais, Simmental, Brangus negro y comercial. (Tesis de Maestría) Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo, Nuevo León. 76 p.
- Valdez-Espinoza U.M., Hernández O.R., Lagunes-Quintanilla., Castro S.E. 2021. Análisis de la susceptibilidad a los ixodicidas en hatos bovinos de una región del estado de Hidalgo, México. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*. 4(3):3642-3648.
- Villar D., Puerta J., López A., Chaparro J.J. 2016. Ivermectin resistance of three *Rhipicephalus microplus* populations using the larval immersion test. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 29: 51-57.