



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

---

**MAESTRIA EN PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO  
PECUARIO**

**RESISTENCIA DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus microplus* A  
DIFERENTES IXODICIDAS EN LA REGIÓN CUENCA DEL PAPALOAPAN,  
OAXACA**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO  
PECUARIO**

**PRESENTA:**

**GUILLERMO CRUZ RODRÍGUEZ**

**DIRECTOR:**

**DR. CECILIO UBALDO AGUILAR MARTÍNEZ**

**CO-DIRECTOR:**

**DR. WILBER HERNÁNDEZ MONTIEL**

**LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO 2024**



# UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

|        |                                    |
|--------|------------------------------------|
| OFICIO | DEP/2024/180                       |
| ASUNTO | Autorización de impresión de tesis |

San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, a 26 de agosto de 2024

M. EN C. HÉCTOR LÓPEZ ARJONA  
VICE-RECTOR ACADÉMICO  
UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

Sirva la presente para informarle que, el jurado evaluador del examen para obtener el grado de **Maestro en Producción y Procesamiento Pecuario** del C. **Guillermo Cruz Rodríguez**, con número de **Matrícula 21190019**, ha autorizado la impresión del manuscrito que lleva por título "**Resistencia de la garrapata *Rhipicephalus microplus* a diferentes ixodicidas en la región cuenca del Papaloapan, Oaxaca**", para su posterior presentación y defensa por el sustentante.

Agradezco su atención y quedo a sus órdenes para cualquier duda o aclaración.

Atentamente  
*terra uberrima, mens aperta*  
Bou Lo-tama, chí jí jú

**Dr. José Abad Zavaleta**  
Jefe de la División de Estudios de Posgrado



C.c.p. Dr. Cecilio Ubaldo Aguilar Martínez– Director de tesis.  
C.c.p. Dr. Miguel Ángel Sánchez Hernández– Coordinador de la Maestría en Producción y Procesamiento Pecuario  
C.c.p. M. E. Yesenia Barrientos Arenal – Jefa del Departamento de Servicios Escolares.  
C.c.p. Archivo.

CAMPUS TUXTEPEC  
C. Circuito central No. 200, Col. Parque Industrial,  
C.P. 38301, Tuxtepec, Oax.,  
Tel. 01(287)8759240

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

CAMPUS LOMA BONITA  
Av. Ferrocarril S/N, Ciudad universitaria,  
C.P. 68400, Loma Bonita, Oax.,  
Tel. 01(281)8729230



# UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

## DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

|        |                             |
|--------|-----------------------------|
| OFICIO | DEP/2024/181                |
| ASUNTO | Jurado para examen de grado |

San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, a 26 de agosto de 2024


**GUILLERMO CRUZ RODRÍGUEZ**  
**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO PECUARIO**  
**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**

Por este medio le informo que el jurado de su examen para obtener el grado de **Maestro en Producción y Procesamiento Pecuario** estará integrado por los siguientes investigadores.


| Profesor Investigador               | Jurado de Examen |
|-------------------------------------|------------------|
| Dra. Tania Zúñiga Marroquín         | Presidente       |
| Dr. Nicolas Valenzuela Jiménez      | Secretario       |
| Dr. Cecilio Ubaldo Aguilar Martínez | Vocal            |
| Dr. Wilber Hernandez Montiel        | Primer Suplente  |
| Dr. José Abad Zavaleta              | Segundo Suplente |

Sin más por el momento, le envío saludos cordiales.

Atentamente  
*terra uberrima, mens aperta*  
Bou Lo-tama, chí jí jú

  
**Dr. José Abad Zavaleta**  
Jefe de la división de estudios  
de posgrado.



  
**M. en C. Héctor López Arjona**  
Vicerrector Académico  
Vo. Bo.



C.c.p. Dr. Cecilio Ubaldo Aguilar Martínez – Director de tesis.  
C.c.p. Dr. Miguel Ángel Sánchez Hernández – Coordinador de la Maestría en Producción y Procesamiento Pecuario  
C.c.p. M. E. Yesenia Barrientos Arenal – Jefa del Departamento de Servicios Escolares.  
C.c.p. Archivo.

**CAMPUS TUXTEPEC**  
C. Circuito central No. 200, Col. Parque Industrial.  
C.P. 38301, Tuxtepec, Oax.  
Tel. 01(287)8759240

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

**CAMPUS LOMA BONITA**  
Av. Ferrocarril S/N, Ciudad universitaria.  
C.P. 68400, Loma Bonita, Oax.  
Tel. 01(281)8729230

## HOJA DE ORIGINALIDAD

El presente trabajo no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de título o grado diferente o adicional al actual. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la **Universidad del Papaloapan** para la reproducción del documento con el fin del intercambio bibliotecario siempre y cuando se indique la fuente.

## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios, por permitirme lograr alcanzar una nueva meta profesional en mi vida, por permitirme seguir adelante a pesar de los momentos difíciles por las que he pasado.

A mi madre:

Gracias por su amor, trabajo, sacrificio, paciencia y esfuerzo en todos estos años, permitiéndome llegar a cumplir un sueño más, y convertirme en lo que soy.

A mis abuelos:

Guillermo y Celina, gracias por estar conmigo en todo momento. Por su amor, valentía, consejos y ser un pilar muy importante en mi vida.

A mi hermano:

Felipe, por estar siempre presente acompañándome y por el apoyo moral que me ha brindado a lo largo de nuestras vidas.

A mis tíos:

Zeltzin y Liliam, por su apoyo incondicional en las buenas y malas. A mi tío César Cruz Rodríguez, quien seguramente estaría muy orgulloso de verme cumplir una meta más, y a pesar de no estar físicamente, sé que lo está.

Por último, infinitas gracias a mis amigos y nuevos lazos de amistad que me dejó la maestría, quienes me brindaron increíbles experiencias académicas y de vida que siempre tendré presentes.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Papaloapan, *campus* Loma Bonita. Por ser mi *alma mater*, en la que hoy concluyo mis estudios para la obtención del grado de maestro en producción y procesamiento pecuario.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), quien a través de la beca número 808563 permitió que yo realizara los estudios de maestría.

Al Dr. Cecilio Ubaldo Aguilar Martínez, mi más grande admiración, respeto y agradecimiento por ser parte de mi formación profesional nuevamente. Por su importantes enseñanzas, consejos y apoyo como director y como persona en cada uno de mis logros profesionales, que hoy concluye con éxito y satisfacción.

Al Dr. Wilber Hernández Montiel, mi agradecimiento por ser parte de mi formación profesional y como Co-director de la presente tesis en este nivel académico. Por su apoyo en las diferentes circunstancias que presentaron durante el proceso y consejos que fueron de mucha ayuda.

A todos mis profesores que integran el cuerpo académico de la Maestría en Producción y Procesamiento Pecuario, que con su profesionalismo, dedicación y conocimientos contribuyeron en mi formación profesional.

## CONTENIDO

|  |      |
|--|------|
| DEDICATORIA .....  | v    |
| AGRADECIMIENTOS .....  | vi   |
| CONTENIDO .....  | vii  |
| ÍNDICE DE CUADROS .....  | x    |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | xiii |
| RESUMEN .....  | xvi  |
| ABSTRACT .....   | xvii |
| 1. INTRODUCCIÓN .....  | 18   |
| 2. OBJETIVOS .....   | 21   |
| 2.1. Objetivo general.....   | 21   |
| 2.2. Objetivos específicos.....  | 21   |
| 3. HIPÓTESIS .....   | 22   |
| 4. REVISIÓN DE LITERATURA .....  | 23   |
| 4.1. Sistema de producción de doble propósito.....   | 23   |
| 4.1.1. Características .....   | 23   |
| 4.1.2. Principales problemas que afectan al sistema de doble propósito.<br>.....                                       | 24   |
| 4.2. Características biológicas y del hábitat de la garrapata <i>R. microplus</i> . 25                                 |      |
| 4.2.1. Ciclo biológico. ....   | 25   |
| 4.2.2. Factores que favorecen la proliferación de la garrapata <i>R.</i><br><i>microplus</i> . ....                    | 27   |
| 4.3. Control de la garrapata <i>R. microplus</i> .....   | 28   |
| 4.3.1. Control biológico.....  | 28   |
| 4.3.2. Control químico. ....   | 29   |
| 4.4. Formas de aplicación de los fármacos químicos usados para el control<br>de la garrapata <i>R. microplus</i> ..... | 30   |
| 4.5. Resistencia de la garrapata <i>R. microplus</i> a ixodicidas.....   | 31   |

|  |    |
|--|----|
| 4.5.1 Mecanismos genéticos de establecimiento de la resistencia. ....  | 32 |
| 4.5.2. Métodos para identificar la resistencia a ixodicidas. ....  | 35 |
| 5. MATERIALES Y MÉTODOS.....   | 37 |
| 5.1. Área de estudio.....  | 37 |
| 5.2. Tipo de estudio.....  | 37 |
| 5.3. Identificación de las prácticas de manejo asociadas al establecimiento de la resistencia de la garrapata a ixodicidas, en unidades de producción bovina de tres municipios de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca | 37 |
| 5.4. Caracterización de la resistencia de la garrapata <i>R. microplus</i> a ixodicidas utilizados para su control en unidades de producción bovina de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca .....                       | 38 |
| 5.4.1. Caracterización de la resistencia de la garrapata <i>R. microplus</i> a ixodicidas mediante la prueba de inmersión de adultas. ....   | 40 |
| 5.5. Caracterización de la resistencia de la garrapata <i>R. microplus</i> a ixodicidas mediante la prueba del paquete larvario.....   | 42 |
| 5.6. Análisis de datos.....  | 43 |
| 5.7.1. Prueba de inmersión de adultas.....   | 43 |
| 5.7.2. Prueba de paquete larvario. ....  | 44 |
| 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....   | 46 |
| 6.1. Prácticas de manejo asociadas al establecimiento de la resistencia de la garrapata a ixodicidas, en unidades de producción de tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca .....                        | 46 |
| 6.2. Determinación de la resistencia de la garrapata <i>R. microplus</i> a grupos de ixodicidas mediante la técnica de inmersión de adultas .....  | 65 |
| 6.2.1. Coumaphos. ....   | 65 |
| 6.2.2. Cipermetrina. ....  | 72 |
| 6.2.3. Amitraz. ....   | 78 |
| 6.3. Determinación de la resistencia de la garrapata <i>R. microplus</i> a grupos de ixodicidas mediante la técnica del paquete larvario.....  | 84 |
| 6.3.1. Coumaphos. ....   | 84 |
| 6.3.2. Cipermetrina.....   | 88 |
| 6.3.3. Amitraz. ....   | 92 |
| 6.4. Determinación de la existencia de subpoblaciones de garrapata <i>R. microplus</i> resistentes a uno o más principios activos.....   | 95 |

|  |     |
|--|-----|
| 6.5. Determinación del nivel resistencia de la garrapata <i>R. microplus</i> a ixodicidas mediante el cálculo de la concentración letal al 50 %, 90 % y 99 % ..... | 98  |
| 6.5.1. Coumaphos .....   | 98  |
| 6.5.2. Cipermetrina.....   | 100 |
| 6.5.3. Amitraz .....   | 101 |
| 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....  | 103 |
| 7.1. Conclusiones .....  | 103 |
| 7.2. Recomendaciones .....   | 104 |
| 8. LITERATURA CITADA.....  | 105 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Municipios de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca incluidos en el estudio para la aplicación de encuestas de factores asociados a la resistencia de la garrapata <i>Rhipicephalus microplus</i> a ixodicidas.....   | 38 |
| <b>Cuadro 2.</b> Localidades de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca incluidos en el estudio para la toma de muestras para la determinación de la resistencia de la garrapata <i>Rhipicephalus microplus</i> a ixodicidas.....  | 39 |
| <b>Cuadro 3.</b> Concentración del ixodicida con respecto a la dosis recomendada por los fabricantes.....  | 41 |
| <b>Cuadro 4.</b> Características del productor y de la unidad de producción, así como del manejo del pastoreo en unidades de producción bovina con influencia potencial en el control químico y establecimiento de la resistencia a ixodicidas de la garrapata <i>R. microplus</i> en unidades de producción bovina de tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca..... | 46 |
| <b>Cuadro 5a.</b> Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con coumaphos a dosis múltiple en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....   | 65 |
| <b>Cuadro 5b (continuación).</b> Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con coumaphos a dosis múltiple en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....                              | 66 |
| <b>Cuadro 6a.</b> Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con cipermetrina a dosis múltiple en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....  | 72 |
| <b>Cuadro 6b (continuación).</b> Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de   |    |

|   |    |
|---|----|
| inmersión de adultas con cipermetrina a dosis múltiple en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....   | 73 |
| <b>Cuadro 7.</b> Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con amitraz a dosis múltiple en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca..... | 79 |
| <b>Cuadro 8a.</b> Mortalidad larvaria corregida obtenida en la prueba del paquete larvario con diferentes concentraciones de coumaphos en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....   | 85 |
| <b>Cuadro 8b (continuación).</b> Mortalidad larvaria corregida obtenida en la prueba del paquete larvario con diferentes concentraciones de coumaphos en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....  | 86 |
| <b>Cuadro 9a.</b> Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....  | 89 |
| <b>Cuadro 9b (continuación).</b> Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....   | 90 |
| <b>Cuadro 10a.</b> Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de amitraz en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....  | 92 |
| <b>Cuadro 10b (continuación).</b> Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de amitraz en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....   | 93 |
| <b>Cuadro 11.</b> Concentraciones de coumaphos calculadas mediante el análisis probit para lograr la Dosis Letal al 50 % (CL <sub>50</sub> ), 90 % (CL <sub>90</sub> ) y 99 % (CL <sub>99</sub> ) en  |    |

|  |     |
|--|-----|
| larvas de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....   | 98  |
| <b>Cuadro 12.</b> Concentraciones de cipermetrina calculadas mediante el análisis probit para lograr la Dosis Letal al 50 % (CL <sub>50</sub> ), 90 % (CL <sub>90</sub> ) y 99 % (CL <sub>99</sub> ) en larvas de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca..... | 100 |
| <b>Cuadro 13.</b> Dosis de amitraz calculadas mediante el análisis probit para lograr la Dosis Letal al 50 % (CL <sub>50</sub> ), 90 % (CL <sub>90</sub> ) y 99 % (CL <sub>99</sub> ) en larvas de garrapatas <i>R. microplus</i> de unidades de producción de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....                | 102 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Porcentaje de los diferentes municipios sobre el criterio de los productores para la realización del baño garrapaticida.....  | 49 |
| <b>Figura 2.</b> Origen del agua utilizada para realizar las mezclas de ixodicidas en unidades de producción de tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....  | 51 |
| <b>Figura 3.</b> Porcentaje de elección sobre razas bovinas utilizadas para la conformación del hato en tres municipios de la Región Cuenca del Papaloapan Oaxaca.....   | 53 |
| <b>Figura 4.</b> Promedio de litros de mezcla garrapaticida aplicada durante el baño de aspersión en tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....   | 54 |
| <b>Figura 5.</b> Porcentaje de percepción sobre la presencia de la garrapata en los diferentes meses del año en tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....  | 55 |
| <b>Figura 6.</b> Porcentaje de productores que reciben asesoría técnica para el control de la garrapata en tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....   | 57 |
| <b>Figura 7.</b> Vías de administración de garrapaticidas utilizadas por los productores bovinos en tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....  | 58 |
| <b>Figura 8.</b> Criterio que utilizan los productores de bovinos para llevar a cabo la dosificación de ixodicida en los baños de aspersión contra la garrapata <i>R. microplus</i> en tres municipios de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca..... | 60 |
| <b>Figura 9.</b> Porcentaje de productores de ganado bovino que realizan rotación de garrapaticidas, en tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....  | 62 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 10.</b> Porcentaje en la mezcla de productos ixodicidas utilizados para el control químico por parte de los productores en tres municipios de la región Cuenca de Papaloapan, Oaxaca.....   | 64 |
| <b>Figura 11.</b> Porcentajes de ovoposición promedio observados en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> tratadas con diferentes concentraciones de coumaphos en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....    | 67 |
| <b>Figura 12.</b> Porcentajes de eclosión promedio observados en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> tratadas con diferentes concentraciones de coumaphos en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....       | 69 |
| <b>Figura 13.</b> Porcentajes de control promedio observados en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> tratadas con diferentes concentraciones de coumaphos en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....        | 71 |
| <b>Figura 14.</b> Porcentajes de ovoposición promedio observados en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> tratadas con diferentes concentraciones de cipermetrina en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca..... | 74 |
| <b>Figura 15.</b> Porcentajes de eclosión promedio observados en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> tratadas con diferentes concentraciones de cipermetrina en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....    | 76 |
| <b>Figura 16.</b> Porcentajes de control promedio observados en subpoblaciones de garrapatas <i>R. microplus</i> tratadas con diferentes concentraciones de cipermetrina en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....     | 77 |

**Figura 17.** Porcentajes de ovoposición promedio observados en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* tratadas con diferentes concentraciones de amitraz en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....80

**Figura 18.** Porcentajes de eclosión promedio observados en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* tratadas con diferentes concentraciones de amitraz en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....81

**Figura 19.** Porcentajes de control promedio observados en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* tratadas con diferentes concentraciones de amitraz en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....83

**Figura 20.** Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de coumaphos en subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....87

**Figura 21.** Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....91

**Figura 22.** Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de amitraz en subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca..... 94

**Figura 23.** Porcentaje de subpoblaciones de garrapata *R. microplus* que muestran resistencia simultánea a dos o tres grupos de ixodicidas en unidades productivas de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.....96

## RESUMEN

El objetivo fue caracterizar mediante bioensayos la resistencia de la garrapata *R. microplus* a tres ixodicidas utilizados para su control (coumaphos, cipermetrina y amitraz), así como determinar las prácticas de manejo asociadas al establecimiento de la resistencia en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca. Se aplicó una encuesta semiestructurada a 89 productores de bovinos de los municipios de Loma Bonita, San Juan Bautista Tuxtepec y San Lucas Ojitlán, Oaxaca, para identificar las prácticas de manejo que contribuyen al establecimiento de la resistencia de la garrapata a los ixodicidas. Se incluyeron 10 unidades de producción para determinar por medio de las técnicas de inmersión de adultas y paquete larvario, el grado de resistencia de la garrapata *R. microplus* a diferentes concentraciones de coumaphos, cipermetrina y amitraz. Los factores que contribuyeron con la resistencia de la garrapata a los ixodicidas son el origen del agua para realizar las mezclas, el baño de una mayor cantidad de animales por bomba, el criterio de los productores para dosificar el ixodicida comercial, la falta de rotación de principios activos y la mezcla injustificada de productos comerciales. La técnica de inmersión de adultas mostró que la concentración recomendada por los fabricantes de coumaphos, cipermetrina y amitraz provocó un porcentaje de ovoposición de 66.2 %, 82.7 % y 86.4 % respectivamente; en el mismo orden, un porcentaje de control de 48.5 %, 47.1 % y 29.1 %. Cuando el coumaphos, la cipermetrina y el amitraz se utilizan a la concentración recomendada, provocan una mortalidad larvaria de 98.1 %, 17.3 % y 45.4 %. El 90 % de las subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* mostró resistencia a cipermetrina y amitraz, mientras que, el resto (10 %) al coumaphos, cipermetrina y amitraz. El análisis probit mostró que en nueve, cero y cero subpoblaciones de garrapata, la  $CL_{99}$  calculada para el coumaphos, la cipermetrina y el amitraz es menor que la concentración recomendada. Se concluye que la resistencia de la garrapata *R. microplus* a cipermetrina y amitraz está ampliamente extendida en las unidades de producción bovina de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca, mientras que el coumaphos aún es eficaz.

**Palabras clave:** *Rhipicephalus microplus*, resistencia, coumaphos, cipermetrina, amitraz, prueba, inmersión de adultas, paquete larvario.

## ABSTRACT

The objective was to characterize, through bioassays, the resistance of the *R. microplus* tick to three ixodicides used for its control (coumaphos, cypermethrin and amitraz), as well as to determine the management practices associated with the establishment of resistance in cattle production units in the Papaloapan Basin Region, Oaxaca. A semi-structured survey was applied to 89 cattle producers in the municipalities of Loma Bonita, San Juan Bautista Tuxtepec and San Lucas Ojitlán, Oaxaca, to identify the management practices that contribute to the establishment of tick resistance to ixodicides. Ten production units were included to determine, through immersion techniques of adults and larval packages, the degree of resistance of the *R. microplus* tick to different concentrations of coumaphos, cypermethrin and amitraz. The factors that contributed to the tick resistance to ixodicides were the origin of the water used to make the mixtures, the bathing of a greater number of animals per pump, the producers' criteria for dosing the commercial ixodicide, the lack of rotation of active ingredients and the unjustified mixing of commercial products. The adult immersion technique showed that the concentration recommended by the manufacturers of coumaphos, cypermethrin and amitraz caused an oviposition percentage of 66.2%, 82.7% and 86.4% respectively; in the same order, a control percentage of 48.5%, 47.1% and 29.1%. When coumaphos, cypermethrin and amitraz are used at the recommended concentration, they cause a larval mortality of 98.1%, 17.3% and 45.4%. Ninety percent of the *R. microplus* tick subpopulations showed resistance to cypermethrin and amitraz, while the rest (10%) to coumaphos, cypermethrin and amitraz. Probit analysis showed that in nine, zero and zero tick subpopulations, the calculated LC99 for coumaphos, cypermethrin and amitraz is lower than the recommended concentration. It is concluded that the resistance of the *R. microplus* tick to cypermethrin and amitraz is widespread in cattle production units in the Cuenca del Papaloapan region, Oaxaca, while coumaphos is still effective.

**Keywords:** *Rhipicephalus microplus*, resistance, coumaphos, cypermethrin, amitraz, test, adult immersion, larval package.

## 1. INTRODUCCIÓN

La garrapata *Rhipicephalus microplus* (*R. microplus*) es el principal ectoparásito que afecta al ganado bovino en las zonas tropicales y subtropicales de México y el mundo (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2012). Las garrapatas causan daños directos en los animales como la pérdida del bienestar animal, disminución de los parámetros productivos y reproductivos y manifestaciones de enfermedad como la anemia y la parálisis. Su acción traumática afecta la calidad de las pieles y puede actuar como vector de enfermedades como la babesiosis, anaplasmosis y micoplasmosis (Taylor *et al.*, 2007; Yessinou *et al.*, 2016). En México, la presencia de *R. microplus* representa un problema sanitario importante porque aproximadamente el 60 % del territorio nacional presenta condiciones favorables para su desarrollo.

El control de la garrapata *R. microplus* se ha logrado principalmente mediante el uso de garrapaticidas sintéticos conocidos como ixodicidas (Guerrero *et al.*, 2012). Existen varios grupos de ixodicidas aprobados para el control de dicha garrapata en México, entre los que destacan, los organofosforados, amidinas, piretroides, fenilpirazolonas, endectocidas e inhibidores del desarrollo (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2012). A pesar de que inicialmente los compuestos mencionados mostraron alta eficiencia en la eliminación de los ectoparásitos, su uso indiscriminado e inadecuado ha propiciado que en los últimos años haya aparecido resistencia de la garrapata a los mismos. Lo anterior se debe a la expresión de mutaciones génicas y mecanismos de la resistencia metabólica que disminuyen la eficacia de los principios activos (García, 2020).

Se sabe que la resistencia de la garrapata a los ixodicidas suele aparecer entre los dos y los siete años a partir de que se comienzan a utilizar (Aguirre *et al.*, 1986; Alonso-Díaz *et al.*, 2006). Así, la resistencia de la garrapata a los organofosforados se documentó en México por primera vez en 1981 en un rancho de Tuxpan, Veracruz (Cantú, 2015). A principios de la década de 1990, se tuvo conocimiento de los primeros casos de la aparición de garrapatas doblemente resistentes a organofosforados y piretroides en la región del Golfo

de México y Chiapas (Santamaría *et al.*, 2003; Rodríguez-Vivas, 2018). El uso del amitraz se consideró una alternativa prometedora, luego de la presencia de la resistencia en los piretroides y organofosforados. Sin embargo, a principios de 2001 se detectó la resistencia a amidinas en un rancho de Tabasco (Treviño, 2013). Posteriormente, en 2010 se detectó resistencia de *R. microplus* a la ivermectina en tres granjas de Yucatán (Martínez-Arzate, 2018). En 2013, se reportó la resistencia a fipronil en ranchos de Tamaulipas, observándose por vez primera, resistencia múltiple a cuatro familias de ixodícidas (Miller *et al.*, 2013). Actualmente, en más de la mitad de los estados del país se presenta resistencia de la garrapata *R. microplus* a tres o incluso cuatro familias de ixodícidas (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2012).

Algunos de los factores de riesgo que han contribuido al establecimiento de la resistencia a ixodícidas en la garrapata *R. microplus* consisten en múltiples prácticas de manejo erróneas relacionadas con la utilización repetida de un principio activo en los tratamientos garrapaticidas, la sobredosificación o subdosificación, la elaboración de mezclas utilizando sustancias de uso doméstico, o bien, la mezcla de productos comerciales sin un sustento científico, no respetar las indicaciones de los laboratorios o realizar de manera incorrecta el baño garrapaticida, ocasionando que el producto no llegue en cantidades adecuadas a toda la superficie del animal (Hernández, 2005). Actualmente, se considera que, es importante reducir las malas prácticas de control químico, ya que estas incrementan la velocidad de desarrollo y establecimiento de la resistencia a ixodícidas en la garrapata (Márquez y Jiménez, 2003).

La detección oportuna de subpoblaciones de garrapata *R. microplus* resistentes a ixodícidas, así como los factores de riesgo del establecimiento de la resistencia debe considerarse como un paso inicial en el control del problema. El diagnóstico temprano de la resistencia en garrapatas permitirá moderar la presión de selección ejercida por los tratamientos con ixodícidas, haciendo más lenta la propagación de la resistencia (Baxter *et al.*, 1999;

Santos *et al.*, 2013; Yessinou *et al.*, 2016). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es caracterizar mediante bioensayos la resistencia de la garrapata *R. microplus* a tres grupos de ixodicidas utilizados para su control, así como determinar las prácticas de manejo asociadas al establecimiento de la resistencia en unidades de producción de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Caracterizar mediante bioensayos la resistencia de la garrapata *R. microplus* a tres ixodicidas utilizados para su control (coumaphos, cipermetrina y amitraz), así como determinar las prácticas de manejo asociadas al establecimiento de la resistencia en unidades de producción de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

### 2.2. Objetivos específicos

Identificar mediante la aplicación de una encuesta semiestructurada a productores de bovinos, las prácticas de manejo que contribuyen al establecimiento de la resistencia de la garrapata a ixodicidas.

Determinar mediante la técnica de inmersión de adultas el efecto de diferentes concentraciones de coumaphos, cipermetrina y amitraz en algunos parámetros reproductivos de las subpoblaciones de la garrapata *R. microplus* incluidas en el estudio.

Precisar mediante la técnica del paquete larvario el efecto de diferentes concentraciones de coumaphos, cipermetrina y amitraz en la mortalidad larvaria de las subpoblaciones de la garrapata *R. microplus* incluidas en el estudio y si existe resistencia múltiple.

Puntualizar el nivel de resistencia a ixodicidas de la garrapata *R. microplus* mediante el cálculo de la concentración letal al 50 %, 90% y 99 % en las diferentes subpoblaciones de garrapatas incluidas en el estudio.

### 3. HIPÓTESIS

La resistencia de la garrapata *R. microplus* a coumaphos, cipermetrina y amitraz está ampliamente extendida en las unidades de producción bovina de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

En la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca, existen subpoblaciones de la garrapata *R. microplus* que muestran resistencia a los tres ixodicidas incluidos en el estudio.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Sistema de producción de doble propósito

En México existen cuatro regiones agroecológicas: 1) árida y semiárida, 2) templada, 3) trópico seco y, 4) trópico húmedo (Martínez-González *et al.*, 2017). Las regiones tropicales se distinguen por aportar el 46 % de la carne de ganado bovino que se consume en el país, operando bajo los sistemas de producción de doble propósito (Martínez-Castro *et al.*, 2015). Estos sistemas se caracterizan por producir de manera simultánea leche y carne, mediante la ordeña manual y la venta del becerro postdestete (Chalate-Molina *et al.*, 2010). Además, el sistema de doble propósito es importantes porque es desarrollado por más del 60 % de los productores ganaderos a nivel nacional.

**4.1.1. Características.** En México, el 80 % de la ganadería bovina se desarrolla bajo los sistemas de doble propósito, principalmente en los estados de Veracruz (38 %), la Huasteca (Veracruz-Tamaulipas-San Luis Potosí) (19 %), Chiapas (16 %) y Tabasco (8 %) (Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2009). El sistema de doble propósito se desarrolla principalmente en condiciones extensivas o semi-extensivas, siendo común encontrar unidades de producción con baja productividad y en proceso de deterioro (Castro *et al.*, 2002).

El terreno donde pasta el ganado tiene superficies promedio de 11 a 20 hectáreas, con cargas animales de 11 a 20 vacas en producción. El 73.3 % de los productores utiliza el pastoreo alterno con gramíneas nativas (*Paspalum sp* y *Axonopus sp*) e introducidas, como Privilegio (*Panicum maximum*), Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*), Alemán (*Echinochloa polistachya*). El resto de los productores (26.7 %) combina el pastoreo tradicional con alimentación alterna a base de esquilmos agrícolas, desperdicios de la agroindustria y suplementación de sales minerales. Estas prácticas son comunes principalmente en la época de sequía, cuando hay poca disponibilidad de forrajes, que presentan baja calidad nutricional (Martínez-Castro *et al.*, 2012; García-Martínez *et al.*, 2015). En lo referente la

estructura del hato, existe una mayor proporción de vacas y becerros de engorda y menor cantidad de vaquillas y machos, los cuales se utilizan como reemplazos (Albiter *et al.*, 2015).

Generalmente, las unidades de producción de doble propósito cuentan con instalaciones construidas con los materiales propios de la región. Las vacas son mantenidas en pastoreo, se ordeñan una vez al día, con escaso uso de suplementos alimenticios (Sheen y Riesco, 2002). El manejo sanitario consiste en vacunar, vitaminar, desparasitar contra parásitos internos y bañar a los animales con productos garrapaticidas dos veces por año (inicio y fin de las lluvias), estas prácticas casi siempre son realizadas de manera incorrecta (Orantes-Zebadúa *et al.*, 2014; Albiter *et al.*, 2015).

En el trópico, las unidades de producción doble propósito tienen un gran potencial productivo, debido a los abundantes recursos vegetales y agua, y podrían ayudar a satisfacer la demanda nacional de carne y leche. Sin embargo, las fallas en el manejo de los animales, desinformación y falta de apoyos gubernamentales, hacen que estos sistemas sean poco eficientes y rentables (Cortés-Mora *et al.*, 2012). Como consecuencia la producción nacional de carne y leche sigue siendo insuficiente para satisfacer la demanda de una población que crece a un mayor ritmo que el de la producción (Monforte *et al.*, 2006).

**4.1.2. Principales problemas que afectan al sistema de doble propósito.** La ganadería de doble propósito utiliza predominantemente las cruzas entre ganado Cebú X Pardo Suizo y Cebú X Holstein, así como las razas Brahman, Simmental, Santa Gertrudis, Gyr e Indobrasil. La utilización de estas razas y sus cruzas tiene el objetivo de mantener rusticidad e incrementar la producción de leche y carne (Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2009).

Los parámetros reproductivos en los sistemas de doble propósito generalmente son malos. Así, las hembras presentan periodos de anestro postparto de más de 150 días, lo que no permite alcanzar el objetivo lograr un intervalo entre partos de 12 meses (Venegas, 2015). El restablecimiento de la

actividad ovárica después del parto depende principalmente de la condición corporal y la interacción de la vaca con la cría. Las vacas con una buena condición corporal, tienen intervalos entre partos menores. Desgraciadamente, en los sistemas de doble propósito es común que haya carencia de forrajes en ciertas épocas del año y que no se suplemente a los animales, lo que causa una baja condición corporal de los mismos (Domínguez *et al.*, 2004).

Las enfermedades parasitarias son un problema global que limita la salud y el rendimiento productivo del ganado, debido a una cantidad grande de ectoparásitos y endoparásitos. La garrapata *R. microplus* es uno de los agentes patógenos más importantes en el trópico. Esta garrapata puede provocar daños en la piel, anemias, baja condición corporal, parámetros reproductivos bajos, disminución en la producción de leche y carne, mortalidad y parálisis. Además, es agente transmisor de hemoparásitos como *Babesia sp* y *Anaplasma marginale* (Oporta-López, 2017).

Dentro de las medidas de control que se emplean para combatir a la garrapata *R. microplus*, el uso de ixodicidas es la práctica de mayor difusión entre los productores y técnicos relacionados con la producción bovina, con el agravante de que se ha hecho un mal uso de estos. Lo anterior, ha generado resistencia en las garrapatas, lo que incrementa los costos del programa sanitario por un mayor número de aplicaciones, efecto sobre poblaciones no blanco, problemas de contaminación ambiental y presencia de residuos en la leche y en la carne (Jones, 2015).

## **4.2. Características biológicas y del hábitat de la garrapata *R. microplus***

**4.2.1. Ciclo biológico.** La garrapata *R. microplus* se distribuye geográficamente entre los paralelos 32 de los hemisferios norte y sur (Mendoza, 2021). Se considera el principal ectoparásito de los bovinos en los países tropicales y subtropicales del mundo (Alonso-Díaz *et al.*, 2006). El ciclo

biológico de las garrapatas duras presenta un estado inactivo (huevos) y un estado móvil hematófago (larva, ninfa y adulto). El ciclo de vida de *R. microplus* es relativamente constante y dura de 18 a 22 días; se puede dividir en una fase parasítica y una fase no parasítica o de vida libre (Rodríguez, 2019).

La **fase parasítica** comienza una vez que la larva ha encontrado a un animal como hospedero. Al emerger las larvas permanecen cerca del lugar donde eclosionaron, posteriormente suben al pasto en espera de un hospedero, atraídas fuertemente por el dióxido de carbono emanado por el individuo (Morgado-Ramírez, 2021). Al subir las larvas al huésped, estas se fijan de preferencia en zonas del animal protegidas por la radiación solar como vientre, axila, parte interna del brazo y pierna, ubre, escroto e ingle (Bustillos, 2016). Durante su estancia sobre el huésped el parasito toma diferentes estadios. Una vez que eclosionan, se transforman en **larvas**, las cuales presentan un color rojizo y únicamente tienen tres pares de patas, con un tamaño similar a la mitad del diámetro de un alfiler (0.9 mm). Posteriormente mudan a la etapa de **ninfa** conservando una coloración igual a la de la larva, pero con cuatro pares de patas y con mayor tamaño. Después de una muda, las ninfas alcanzan el estadio de adulto, en el que los individuos presentan dimorfismo sexual. La hembra mide de 10 a 12 mm y el macho entre tres y cuatro mm, presentan un color verde olivo a azul verdoso, tienen una forma oval, con la cutícula dura (escudo), brillante y arrugada (Garza, 2007).

La **fase no parasítica o de vida libre** comienza cuando la hembra repleta (ingurgitada) se desprende del hospedero y cae al suelo y tiene varias etapas. La primera etapa es la **preoviposición** donde la hembra repleta se desprende, y se mueve en busca de un lugar con sombra protegido para ovipositar. Esta etapa dura aproximadamente de 2 a 4 días en verano y de 20 a 23 días en invierno (Polanco y Ríos, 2016). La **oviposición** comienza desde la puesta del primer huevo hasta el último por hembra ingurgitada. Los factores ambientales influyen en la duración de este periodo. Así, la oviposición en verano dura de cinco a siete días y en invierno este lapso se duplica o triplica de acuerdo con

las condiciones climáticas extremas (Álvarez, 2017). La etapa de **incubación** abarca desde la postura de los huevos hasta su eclosión. Su duración depende de las condiciones climáticas, durando de 23 a 26 días en verano y de 69 a 74 días en invierno (Mastropaolo, 2014). Los parámetros óptimos para un mejor porcentaje de incubación son de 24.9 a 35 °C de temperatura y una humedad relativa de 80-90 % (Gutiérrez-Osorio, 2006).

La última parte del ciclo está compuesta por la **fase de encuentro**. Después de que los huevos eclosionan, las larvas suben a los pastos y tratan de evitar la radiación solar durante gran parte del día. De esta forma, se encuentran a la espera de cualquier acercamiento para adherirse al hospedero (Salazar-Benjumea, 2015).

**4.2.2. Factores que favorecen la proliferación de la garrapata *R. microplus*.** Los principales factores que influyen en la proliferación de las garrapatas son la humedad relativa, la temperatura ambiental y el tipo de vegetación. El porcentaje de humedad relativa que beneficia al desarrollo de las garrapatas es alrededor del 70 % (Coello-Izquierdo, 2015). Los valores menores interfieren en la actividad biológica de los ectoparásitos, mientras que, valores superiores, predisponen a la proliferación de hongos sobre las mismas. Por otra parte, el valor óptimo de temperatura en el que se desarrolla la garrapata *R. microplus*, es de 27 °C. Temperaturas por encima de los 33 °C, afectan el desarrollo de las larvas, ya que aumenta su consumo de energía, desgastándolas rápidamente y disminuyendo su sobrevivencia. En contraparte, las temperaturas inferiores a 10 °C dan paso a que las larvas y las ninfas entren en un estado fisiológico de inactividad, incrementando la duración de los períodos de desarrollo (Jacho-Merino, 2015). Las praderas con alta vegetación y arbustos también contribuyen a su desarrollo, ya que, proporcionan a las garrapatas un hábitat ideal para su ciclo biológico, brindándoles protección (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2014).

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

El uso indiscriminado de ixodicidas tiene efectos adversos, como presencia de residuos de medicamentos en leche y carne, la aparición de garrapatas resistentes a ixodicidas y la contaminación ambiental (Ruiz y Blanco, 2009). Estos efectos motivaron la búsqueda de alternativas de control, destacándose la elaboración de vacunas contra las garrapatas, el desarrollo de razas de bovinos resistentes y el control biológico (García-Corredor *et al.*, 2016).

**4.3.1. Control biológico.** El control biológico de las infestaciones de garrapatas ha sido difícil, ya que estas cuentan con pocos enemigos naturales. Dentro de las opciones para el control biológico se encuentra el uso de plantas y hongos entomopatógenos que han sido estudiados con éxito a nivel mundial como agentes controladores de la garrapata del bovino. Tanto los hongos como las plantas infectan o atrapan a los artrópodos en la naturaleza y pueden ocurrir a niveles enzoóticos o epizoóticos en sus poblaciones (Pulido-Medellín *et al.*, 2015; Aguilera-Cogley *et al.*, 2020). Algunas leguminosas del género *Stylosantes spp.* ayudan con el control de las garrapatas adultas al depositar sus huevos cerca de los tallos y al emerger las larvas. Debido a su escasa habilidad de migración horizontal empiezan a ascender a través de sus tallos vellosos donde quedaran atrapadas. De igual forma, existen otras plantas con propiedades antigarrapatas como *Melinis minutiflora*, *Gynandropsis gynandra* y *Brachiaria brizantia*, las cuales repelen a las garrapatas que buscan hospedero (UASLP, 2007). Uno de los organismos que mayor potencial tiene para el control de diferentes estadios de *R. microplus*, es el hongo *Metarhizium anisopliae*, el cual invade activamente la garrapata a través de su cutícula y produce daño patológico al presionarla mecánicamente y degradarla por la acción de enzimas hidrolíticas (Esponda *et al.*, 2021).

Entre alternativas de origen vegetal y fúngicos para el control biológico como garrapaticidas, se incluyen insectos entomófagos como reguladores en la población de garrapatas, destacando las hormigas de los géneros *Solenopsis molesta*, *Camponotus* y *Ectatomma* como las más importantes que depredan

adultos repletos y huevos (Vega, 2007). A pesar de que los métodos biológicos ayudan a reducir el número de larvas activas en los potreros, todavía no es posible sustituir otras medidas de control de las garrapatas como el tratamiento químico con ixodicidas y el uso de ganado resistente.

Actualmente, la resistencia de la garrapata a varios grupos químicos, ha impulsado el desarrollo de vacunas para combatir al ectoparásito como otro medio de control. La vacunación ha demostrado ser una alternativa viable para combatir a la garrapata y disminuir la transmisión de enfermedades como la anaplasmosis y babesiosis (Martínez-Arzate, 2018). Sin embargo, el efecto de las vacunas no es inmediato, ya que no matan ni derriban a las garrapatas adheridas al bovino, sino que su acción se ejerce sobre las siguientes generaciones del artrópodo. Así, de manera paulatina su efecto va disminuyendo la carga parasitaria en los potreros. Su empleo no elimina por completo el uso de ixodicidas, sino que solo lo disminuye al reducir el número de baños garrapaticidas. Esto significa que la vacuna tiene que emplearse en un programa de control integral (Sosa, 2014).

**4.3.2. Control químico.** El uso de ixodicidas es la estrategia más utilizada para el control de *R. microplus*. Estos se aplican sobre el cuerpo de los animales infestados a intervalos específicos determinados por la región ecológica, especies a las que se va a combatir y por la eficacia residual del producto empleado (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2014).

Los ixodicidas más empleados en México son los organofosforados (OF), piretroides sintéticos (PS), amitraz (Am), inhibidores del desarrollo y fenilpirazolonas. Las lactonas macrocíclicas (LM) son endectocidas que también controlan las infestaciones por garrapatas y han sido usadas en los últimos años en México (Alemán-Gaínza *et al.*, 2015).

A través del tiempo, el uso irracional de los ixodicidas ha generado el desarrollo de resistencia a los mismos por parte de la garrapata, lo que ha propiciado la búsqueda de métodos alternativos de control de esta plaga en la industria bovina. Algunos de ellos son la selección de razas resistentes, control

biológico (hongos entomopatógenos, depredadores y plantas), lactonas macrocíclicas y el uso de vacunas (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2010).

#### **4.4. Formas de aplicación de los fármacos químicos usados para el control de la garrapata *R. microplus***

Los ixodicidas son la herramienta más importante que se utiliza para el control de las garrapatas. Es por ello, que han presentado una evolución tanto en sus principios activos como en la vía de aplicación (Araque *et al.*, 2014). Al comienzo, los tratamientos se realizaban exclusivamente por inmersión, con el cual se logra un mojado corporal completo, y una rápida ejecución, especialmente en ganaderías con alto número de animales. Sin embargo, este método presenta algunas desventajas como la exigencia de grandes volúmenes de agua y, sobre todo, las mayores dificultades para mantener una correcta concentración del ixodicida, debido a la contaminación provocada por el paso de animales (Chávez-Fortín, 2020).

Los principios activos utilizados actualmente actúan por contacto directo con el parásito, o bien, mediante un efecto sistémico cuando se administran por vía parenteral. Actualmente comienzan a ser cada vez más frecuentes los productos que se aplican por derrame dorsal (*pour-on*) por presentar mayores ventajas que las otras vías como su facilidad, rapidez de aplicación, no exigen mayor sujeción de los animales, sin riesgo para el operador y aseguran el uso correcto de las dosis, utilizando grupos químicos como piretroides, fipronil, lactonas macrocíclicas y fluazuron (Cuore *et al.*, 2008; Casas *et al.*, 2015). La inyección parenteral es un método comúnmente utilizado para productos como los endectocidas (lactonas macrocíclicas). Su ventaja radica en que presentan efectos de más larga duración (30-40 días). Por ello, son utilizados como productos alternos que permiten reducir población de garrapatas (Cantú y García, 2015).

El método de aspersión está ampliamente difundido por las ventajas que ofrece. Permite tener un conocimiento exacto de la concentración del producto y la utilización de una mezcla limpia recientemente preparada. Además, es una de las opciones más económicas pues sólo se requiere preparar la cantidad de producto que se empleará en cada aplicación, dependiendo del número de animales. A pesar de las ventajas existentes, presenta notorias desventajas, porque no siempre el mojado de la superficie corporal es completo, lo que se traduce en un menor tiempo de exposición (López, 1996). Este método, al ser el más popular, ha tenido una serie inconvenientes como las malas prácticas de aplicación, aumentando la frecuencia de baños por año, una mala dosificación y la falta de rotación de los químicos, lo cual, se refleja en el aumento de la resistencia de *R. microplus* ante los diferentes grupos ixodicidas (Farías, 1999).

#### **4.5. Resistencia de la garrapata *R. microplus* a ixodicidas**

Desde hace mucho tiempo, el control de la garrapata se ha basado casi exclusivamente en el uso de sustancias químicas como ixodicidas convencionales (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2018). Los garrapaticidas son la principal herramienta disponible para el combate de las garrapatas en las unidades de producción, siendo utilizados de manera intensiva. Sin embargo, su uso inadecuado combinado con la plasticidad de los genomas de los ácaros ha llevado al desarrollo de la resistencia a las diferentes familias de acaricidas y en muchos de los casos a la aparición de la resistencia múltiple (Rosario-Cruz *et al.*, 2014).

A lo largo de varios años, *R. microplus* ha sido expuesta repetidamente a altos niveles de ixodicidas, desarrollando una sorprendente capacidad de resistencia al efecto tóxico de los productos químicos utilizados para su control (Janer *et al.*, 2019). El desarrollo de la resistencia a los productos químicos depende de las presiones evolutivas y de constantes ajustes e involucra factores de variabilidad genética por mutaciones al azar o rearreglos genéticos

que son generados por el uso constante de los ixodicidas (Hawkins *et al.*, 2019), permitiendo la reproducción de individuos con el rasgo de resistencia (Rodríguez-Pacheco *et al.*, 2017).

Existen factores intrínsecos que permiten comprender la evolución de la resistencia, como las características inherentes al parásito y los factores operativos como la elección-frecuencia-dosis-concentración de un ixodicida (Bustamante, 1999). Asimismo, estos factores permiten acelerar o no la aparición de la etapa de emergencia de la resistencia (Cuore, 2006). Es común aumentar las dosis y preparar mezclas de varios productos, con frecuencia más tóxicos, por lo que el problema de la resistencia lejos de solucionarse, se agrava (Araya *et al.*, 2005). El control químico también produce efectos secundarios como el brote de plagas o su resurgimiento y la disminución de las poblaciones de enemigos naturales de la garrapata (Pacheco-Hernández *et al.*, 2019). Por ello es claramente necesario detectar la resistencia desde el principio y utilizar los ixodicidas de manera correcta, sobre todo si se considera que se está volviendo cada vez más difícil desarrollar nuevas moléculas capaces de ejercer control sobre la garrapata (De Oliveira *et al.*, 2015).

#### **4.5.1 Mecanismos genéticos de establecimiento de la resistencia.**

La resistencia es una condición genética que le confiere a una población de garrapatas, la capacidad para adaptarse exitosamente a un ambiente tóxico en su entorno, desarrollando complejos mecanismos para inhibir la toxicidad potencial de los diferentes ixodicidas (Domínguez-García *et al.*, 2010). Este proceso evolutivo se basa en la selección de genes resistentes. Se asume que, en una población de garrapatas sin exposición previa a un fármaco, la cantidad de individuos homocigotos resistentes es muy baja, estando presentes en mayor número los heterocigotos resistentes (Romero-Nasayo *et al.*, 1997). Estos individuos son los que se seleccionan con los sucesivos tratamientos y su cruzamiento dará origen al homocigoto resistente.

Los tipos de resistencia en la mayoría de las garrapatas pueden dividirse en dos grupos: resistencia metabólica e insensibilidad del sitio blanco. En la

resistencia metabólica se incluyen los mecanismos sobre el aumento de la detoxificación. La resistencia no metabólica abarca los mecanismos de comportamiento y de penetración del producto químico en los artrópodos. Solos o en combinación, estos mecanismos confieren resistencia contra todas las clases disponibles de ixodicidas (Rivera, 2012).

La resistencia metabólica es predominantemente causada por la actividad elevada de enzimas agrupadas en familias multigénicas tales como la citocromo P450, glutatión-s-transferasas y carboxilesterasas (Domínguez-García *et al.*, 2010). Las enzimas P450 juegan un papel importante en la adaptación de los insectos a los compuestos tóxicos en sus plantas hospedantes y están involucradas en el metabolismo de todos los insecticidas de uso común. Asimismo, metabolizan compuestos insecticidas organofosforados a sustancias tóxicas más activas mediante la activación de un enlace PS a un enlace PO (Rodríguez y Rodeiro, 2014).

Glutatión S-transferasa (GSTs) son un grupo de enzimas que catalizan la conjugación entre glutatión (GSH) y otras moléculas. Estas enzimas tienen un papel central en la desintoxicación de compuestos xenobióticos y endógenos (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2012; Miranda-Miranda *et al.*, 2016). Las carboxilesterasas (*ChEs*) son objetivos de los ixodicidas organofosforados en artrópodos y la acetilcolinesterasa 2 (*AChE2*) y esterasa 1 (EST1) son enzimas metabólicas involucradas en el proceso de desintoxicación de xenobióticos (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2009). La insensibilidad del gen *AchE* (acetilcolinesterasa), a la inhibición de organofosforados en *R. microplus* fue reportada por primera vez por Lee y Bantham (1966), y se consideró el principal mecanismo de resistencia en esta especie. Una mutación (Q86R) resultó en una sustitución de glutamina por arginina en el gen *BmAChE3* generando una mayor frecuencia en garrapatas resistentes a organofosforados (Temeyer *et al.*, 2007).

El mecanismo de insensibilidad en el sitio blanco es la modificación del sitio de acción del ixodicida para disminuir la sensibilidad del químico. Cuando esta

es la causa de resistencia, los niveles de resistencia regularmente son altos comparados con la detoxificación (Alonso-Díaz *et al.*, 2006). Sin embargo, en este mecanismo están involucrados diferentes enzimas como esterasas, canales del sodio, receptores de octopamina y receptores del GABA (ácido gama-amino butírico) (Díaz, 2012).

Las esterasas son enzimas de vital importancia en artrópodos, ya que estas son esenciales para la metabolización de diversos componentes endógenos y exógenos, estos componentes realizan actividades relacionadas a la digestión, comportamiento y reproducción de los artrópodos (Zúñiga-Torres, 2021).

Los canales del sodio están relacionados con la resistencia tipo Kdr (knockdown resistance), modificando el sitio de acción de los ixodidas piretroides. En cepas mexicanas de *R. microplus* se ha documentado la sustitución de una fenilalanina por una isoleucina (Phe-Ile) en el gen del canal de sodio localizado en el dominio III del segmento 6 (III-S6), la cual confiere resistencia a la familia de los piretroides sintéticos (Cruz y García, 2011; Rodríguez-Vivas *et al.*, 2012).

La octopamina está ampliamente distribuida en los tejidos de los insectos y media su acción a través de tres clases de receptores. Estos receptores son denominados  $\alpha$ -adrenérgicos  $\alpha$ -símil,  $\beta$ -adrenérgicos  $\beta$ -símil y octapaminérgico/tiraminérgico. Los receptores de octopamina están acoplados a proteína G asociada a adenilciclase. Las funciones de la octopamina en los insectos son como: i) neurotransmisor que controla la actividad glandular endocrina, ii) neurohormona encargada de la movilización de los lípidos y carbohidratos, iii) neuromodulador periférico sobre músculo, grasa corporal y cuerpo cardíaco y iv) neuromodulador central con acción sobre la actividad motora, comportamiento y memoria. La sobrestimulación de la sinapsis de octopamina en el SNC provoca gran hiperexcitabilidad en los artrópodos juveniles y adultos, mientras que a niveles sub letales, estos compuestos influyen sobre la oviposición, la alimentación y el aumento del

estado de excitación de los artrópodos. Su efecto llega a ser letal porque su afinidad por los receptores da lugar a una unión más persistente que la del propio neurotransmisor (Errecalde *et al.*, 2013; Ruatta, 2020).

En el sistema nervioso de los artrópodos, el GABA desempeña un papel complementario al de la acetilcolina en los receptores nicotínicos. Las motoneuronas inhibitoras y muchas interneuronas inhibitoras liberan GABA, el cual actúa rápidamente a través de la puerta ligada al canal de cloro, que tiene características comunes a las de los receptores GABA<sub>A</sub> y GABA<sub>B</sub> de los vertebrados como un neurotransmisor inhibitorio en uniones neuromusculares y sinapsis del sistema nervioso central (Muñoz, 2002; Rodríguez-Vivas *et al.*, 2012).

El mecanismo de resistencia no metabólico no está relacionado con el ingreso o la acumulación química del principio activo, sino que se relaciona con modificaciones en la conducta de las garrapatas. La resistencia por comportamiento se basa en la habilidad de la garrapata para modificar su conducta, evitando el contacto en los lugares más difíciles de penetrar con el ixodicida en el animal (Alonso-Díaz *et al.*, 2006). Dentro de los mecanismos, también se encuentra la resistencia por penetración siendo una modificación del exoesqueleto del insecto para inhibir o retardar la penetración del químico, y que en general tiene que ver con la concentración de lípidos que facilitan o retardan la penetración del ixodicida a través de esta estructura (Valdez, 2009).

**4.5.2. Métodos para identificar la resistencia a ixodicidas.** El uso de técnicas de diagnóstico precisas y confiables y la determinación de los mecanismos de resistencia involucrados es fundamental para el diseño de estrategias de los programas de control y manejo de resistencia (Klafke *et al.*, 2013). Los métodos de diagnóstico de resistencia de la garrapata a los ixodicidas han evolucionado con el tiempo (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2008). Inicialmente, consistieron en la realización de bioensayos realizados con especímenes adultos o con larvas, cuya principal desventaja era el tiempo

requerido para llevarlos a cabo. Estos métodos detectan la susceptibilidad y resistencia y consisten en la aplicación tópica, inmersión, inyección y exposición a papeles impregnados (Kadoch-Zúñiga, 2013). Dentro de las pruebas que se desarrollan en los bioensayos, está la del paquete larvario. Esta prueba consiste en exponer larvas de garrapatas en una superficie de papel filtro previamente impregnado con ixodicidas, cuantificándose la mortalidad a las 24 horas (Saporiti *et al.*, 2021). Otra prueba que se lleva a cabo es la de inmersión de adultas, que consiste en determinar el efecto de los ixodicidas en la reproducción de hembras de garrapata adultas.

Las pruebas bioquímicas consisten en el uso de sinergistas que pueden inhibir las enzimas encargadas de la desintoxicación metabólica y, por lo tanto, su efecto puede reconstruir, parcial o totalmente, la eficacia del ixodicida hacia la cepa de garrapatas que mostró un patrón de comportamiento de resistencia mediante detoxificación metabólica (Valdez, 2009).

Las pruebas moleculares consisten en determinar resistencia, mediante la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Estas pruebas permiten diagnosticar y monitorear la evolución de la resistencia para lograr un manejo racional de los principios activos utilizados en el control químico de la garrapata (Cuore *et al.*, 2007). De manera general, a través de ellas se pueden identificar alteraciones en la secuencia de los genes que codifican el sitio de acción de los ixodicidas en la garrapata. La principal ventaja de estas pruebas es que ofrecen resultados en pocas horas, aunque tiene la desventaja de que sólo puede identificar mutaciones (Ruiz y Blanco, 2009). Actualmente, la genómica y la genética reversa, son herramientas cuya aplicación ha ayudado al descubrimiento de nuevos genes de interés diagnóstico o inmunoproláctico, contribuyendo así al mejoramiento de las estrategias de control de garrapatas y los programas de mitigación de la resistencia a ixodicidas (Domínguez-García *et al.*, 2010).

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Área de estudio**

El estudio se llevó a cabo en la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca. El área es una de las ocho regiones en las que se ha dividido el estado. La región mencionada limita al norte con Veracruz y Puebla, al este con la región de La Cañada, al oeste con Veracruz y al sur con la región Sierra Norte. Tiene una superficie de 8,678 m<sup>2</sup> y está integrada por veinte municipios (INEGI, 2017).

El clima de la región varía entre cálido húmedo con lluvias todo el año, cálido húmedo con abundantes lluvias en verano y semicálido húmedo (García, 2004). La región presenta temperaturas que van de los 18 a los 50°C y lluvias que oscilan entre los 2,000 y 4,500 mm anuales.

### **5.2. Tipo de estudio**

De acuerdo con su naturaleza, la investigación estuvo integrada por dos etapas. La primera etapa consistió en identificar las prácticas de manejo que contribuyen al establecimiento de la resistencia de la garrapata a ixodicidas, por lo que se desarrolló un estudio descriptivo y transversal. En la segunda etapa, se caracterizó mediante bioensayos la resistencia de la garrapata *R. microplus* a tres grupos de ixodicidas utilizados para su control, mediante un estudio cuasi-experimental, de tipo transversal.

### **5.3. Identificación de las prácticas de manejo asociadas al establecimiento de la resistencia de la garrapata a ixodicidas, en unidades de producción bovina de tres municipios de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca**

Inicialmente, se contactó a tres asociaciones ganaderas locales ubicadas en el territorio de la región Cuenca del Papaloapan, con el fin de informarles sobre la presente investigación y solicitarles su participación. En el Cuadro 1 se

pueden apreciar el número de encuestas aplicadas, así como los municipios donde se ubican con sus respectivas coordenadas geográficas.

**Cuadro 1.** Municipios de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca incluidos en el estudio para la aplicación de encuestas de factores asociados a la resistencia de la garrapata *Rhipicephalus microplus* a ixodicidas.

| <b>Municipio</b>           | <b>Numero de encuestas</b> | <b>Coordenadas geográficas</b> |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Loma Bonita                | 24                         | 18°06'00" N; 95°53'00" O       |
| San Juan Bautista Tuxtepec | 32                         | 18°05'30" N; 96°08'40" O       |
| San Lucas Ojitlán          | 33                         | 18°03'00" N; 96°24'00" O       |

Se aprovecharon las fechas en las que las asociaciones ganaderas locales sesionaron para aplicar a sus miembros una encuesta semiestructurada con preguntas sobre la información básica sobre el productor y la unidad productiva, tipo de ganado utilizado, potreros en los que se divide el terreno y manejo que se hace de los mismos, manejo general, actividades relacionadas con el control de la garrapata (principios activos que se utilizan, frecuencia de tratamientos a lo largo del año, concentración o dosis del producto, rotación de productos) y percepción de efectividad de los productos químicos utilizados. La información obtenida permitió jerarquizar las unidades de producción a muestrear.

#### **5.4. Caracterización de la resistencia de la garrapata *R. microplus* a ixodicidas utilizados para su control en unidades de producción bovina de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca**

El muestreo se realizó por conveniencia, de acuerdo a los resultados de la encuesta previamente aplicada. Se obtuvieron muestras de 10 ranchos distribuidos en los municipios con mayor número de cabezas de ganado dentro de la región. Los criterios de inclusión para seleccionar los ranchos fueron: ranchos de los cuales se pudieron obtener un mínimo de 150 garrapatas adultas ingurgitadas y que no fueron tratadas con ixodicidas en un periodo

mínimo de 30 días. En el Cuadro 2 se muestra el número de localidades muestreadas por municipio y sus respectivas coordenadas geográficas.

**Cuadro 2.** Localidades de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca incluidos en el estudio para la toma de muestras para la determinación de la resistencia de la garrapata *Rhipicephalus microplus* a ixodicidas.

| UPP   | Localidad        | Municipio      | Coordenadas            |
|-------|------------------|----------------|------------------------|
| UPP1  | Loma Bonita      | Loma Bonita    | 18°06'00"N; 95°53'00"O |
| UPP2  | Loma Bonita      | Loma Bonita    | 18°06'00"N; 95°53'00"O |
| UPP3  | Arroyo Metate    | Loma Bonita    | 18°06'54"N; 95°52'00"W |
| UPP4  | San Benito       | Loma Bonita    | 18°05'59"N; 95°53'23"W |
| UPP5  | Desparramadero   | Loma Bonita    | 18°06'17"N; 95°52'44"W |
| UPP6  | La Gloria        | Tuxtepec       | 17°57'52"N; 95°58'34"O |
| UPP7  | Arroyo Limón     | Tuxtepec       | 18°05'08"N; 96°06'24"W |
| UPP8  | La Sorpresa      | Jalapa de Díaz | 18°06'11"N; 96°28'00"W |
| UPP9  | Ojitlán          | Ojitlán        | 18°03'00"N; 96°24'00"O |
| UPP10 | Vicente Camalote | Acatlán        | 18°30'50"N; 96°31'30"O |

Se evaluó la resistencia de las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* a principios activos de tres diferentes grupos de ixodicidas ocupados en la región: coumaphos (20%, Asuntol Líquido®, Bayer), amitraz (12.5%, Tactic®, MSD Salud Animal México) y cipermetrina (20%, Alfadex Líquido®, Novartis).

Una vez determinadas las unidades productivas a muestrear, se llevó a cabo una recolección de hembras adultas ingurgitadas, con un tamaño mínimo de 8 mm de largo. Se buscó obtener hembras ingurgitadas del mayor número de animales posibles. La recolección de muestras se llevó a cabo de acuerdo con los lineamientos recomendados por la FAO (2004). Las garrapatas obtenidas fueron almacenadas en recipientes limpios plenamente identificados, con orificios de ventilación y una gasa humedecida (Araque *et al.*, 2012). Las muestras fueron transportadas hasta el Laboratorio Sanidad Animal y Microbiología de la Universidad del Papaloapan, *campus* Loma Bonita. Inicialmente, se llevó a cabo la identificación de la especie mediante un microscopio estereoscópico. Todas las hembras se lavaron con agua destilada para eliminar residuos orgánicos. Los bioensayos se realizaron dentro de las primeras 24 horas posteriores a la recolección de las garrapatas.

#### **5.4.1. Caracterización de la resistencia de la garrapata *R. microplus* a ixodicidas mediante la prueba de inmersión de adultas.**

**5.4.1.1. Bioensayos con la concentración recomendada.** El objetivo de la prueba de inmersión de adultas fue evaluar el efecto de los principios activos sobre la actividad reproductiva de las hembras adultas completamente ingurgitadas. La prueba con la que se midió la resistencia fue la de inmersión de adultas, desarrollada por Drummond *et al.* (1973). Todas las garrapatas ingurgitadas que no ovopositaron durante el transporte o almacenamiento, fueron candidatas para ser evaluadas.

Todos los productos comerciales se evaluaron de acuerdo con los lineamientos de la FAO (2004) y la Norma Oficial Mexicana 006-ZOO (NOM-006-ZOO-1993). Para probar cada uno de los ixodicidas comerciales, se requirieron al menos 140 garrapatas. Se formaron 2 grupos de diez garrapatas y se asignaron al azar a las categorías tratado y testigo. Los grupos de garrapatas se pesaron y los pesos se registraron.

Para probar cada grupo de garrapatas, en un vaso de precipitado se prepararon 25 mL de solución de cada ixodicida, con la dosis recomendada por los fabricantes. Las garrapatas fueron sumergidas en la solución durante un minuto. Transcurrido el tiempo, el vaso de precipitado se vació, recolectando las garrapatas con ayuda de una coladera. Posteriormente, las garrapatas se secaron con toallas de papel y se alojaron en cajas de Petri previamente identificadas. En el grupo testigo, se realizó el mismo procedimiento y el papel filtro se impregno con agua destilada. Las garrapatas se colocaron en cajas de Petri de 9 cm de diámetro con ayuda de una cinta adhesiva doble cara para fijarlas con mayor facilidad a la superficie en una posición decúbito dorsal, tratando que el aparato bucal quede en dirección a la periferia de la caja.

Cada uno de los grupos se colocó en una estufa a 28°C y 80% de humedad relativa durante 14 días. Cumplido el plazo, se evaluó la capacidad del producto para inhibir la ovoposición en las garrapatas tratadas. Se retiraron los

huevos ovopositados, se pesaron en una balanza analítica y se registraron los pesos. Posteriormente, se colocaron en un tubo de ensayo, se taparon con una torunda de algodón y se incubaron durante 25 días, con las condiciones de temperatura y humedad mencionadas anteriormente, para determinar el efecto de los productos comerciales sobre la eclosión de los huevos. Al término del plazo, las larvas resultantes se congelaron y se realizó el conteo de cascarones y huevos en cada uno de los grupos. De esta manera, se determinó el porcentaje de eclosión.

**5.4.1.2. Bioensayos con concentraciones múltiples.** Sirvieron para determinar la capacidad de ovoposición de las garrapatas tratadas con ixodicidas a diferentes concentraciones. La respuesta de las garrapatas repletas a las diferentes concentraciones de los ixodicidas, se utilizan para establecer una línea de regresión que permite establecer la concentración de inhibición de la ovoposición (CIO) y concentración de inhibición de la eclosión (CIE) al 50%, 90% y 95%.

Cada uno de los principios activos incluidos en el estudio se probó a una concentración diferente, como se muestra en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Concentración del ixodicida con respecto a la dosis recomendada por los fabricantes.

| Tratamiento  | Grupo*  | Concentración (%) | Volumen final |
|--------------|---------|-------------------|---------------|
| Coumaphos    | Testigo | 0                 | 25 mL         |
|              | 0.5X    | 0.1               | 25 mL         |
|              | 1.0X    | 0.2               | 25 mL         |
|              | 2.0X    | 0.4               | 25 mL         |
|              | 4.0X    | 0.8               | 25 mL         |
| Cipermetrina | Testigo | 0                 | 25 mL         |
|              | 0.5X    | 0.025             | 25 mL         |
|              | 1.0X    | 0.05              | 25 mL         |
|              | 2.0X    | 0.1               | 25 mL         |
|              | 4.0X    | 0.2               | 25 mL         |
| Amitraz      | Testigo | 0                 | 25 mL         |
|              | -       | 0.0125            | 25 mL         |
|              | -       | 0.05              | 25 mL         |
|              | -       | 0.2               | 25 mL         |

\* Número de veces de la dosis, con respecto a la dosis recomendada por el laboratorio comercial

Para probar el coumaphos y la cipermetrina, se requirieron cinco grupos de 10 garrapatas adultas repletas, en el caso del amitraz se requirieron cuatro grupos de 10 garrapatas. El procesamiento de las muestras para cada principio activo comenzó con el grupo testigo en agua destilada y posteriormente se siguió de la concentración más baja a la más alta. Para probar cada una de las concentraciones, se realizó el mismo procedimiento descrito en el apartado "5.4.1".

### **5.5. Caracterización de la resistencia de la garrapata *R. microplus* a ixodicidas mediante la prueba del paquete larvario**

Se seleccionaron cinco garrapatas adultas ingurgitadas, las cuales se colocaron con ayuda de una cinta adhesiva doble cara en posición decúbito dorsal en una caja de Petri de 9 cm de diámetro para su posterior ovoposición. Las garrapatas fueron incubadas por 14 días a 28°C y 90% de humedad. En el día 14 de incubación, los huevos fueron recolectados, se colocaron en tubos y siguieron incubándose hasta que ocurra la eclosión larvaria, después de haber ocurrido la eclosión de las larvas, se incubaron durante 18 días más para la maduración de las teleoginas, hasta que fueron utilizadas en los bioensayos.

Las dosis que se probaron fueron las mismas que aparecen en el Cuadro 3. El diluyente utilizado para todos los ixodicidas comerciales fue el tricloroetileno y aceite de oliva, mezclados en una proporción 2:1. Los paquetes larvarios se elaboraron utilizando cajas de Petri, un papel filtro Whatman No. 1 con dimensiones de 7 cm de ancho por 7 cm de largo, el cual fue doblado a la mitad y pinzas bulldog para sellarlos. Ambas caras internas del papel filtro que formaron el paquete fueron impregnados con 0.67 mL de la solución preparada de cada uno de los ixodicidas. Posteriormente, el tricloroetileno se eliminó a la intemperie durante dos horas.

En todos los bioensayos, se evitó la contaminación manipulando inicialmente el control negativo, siguiendo el mismo orden creciente de las concentraciones. Se realizó cambio de guantes entre cada uno de los ixodíctidos. El procedimiento para realizar los bioensayos se basó en la técnica descrita por Miller *et al.* (1999), en la cual se contempla la exposición de aproximadamente 100 larvas a las diferentes concentraciones de los ixodíctidos. Los paquetes se incubaron durante 24 horas a 28°C y 90% de humedad. Para probar el amitraz, en lugar de papel filtro se ocuparon cajas de Petri, y la incubación se desarrolló por 48 horas. Pasado el tiempo de la incubación, los paquetes se abrieron y se verificó la mortalidad de las larvas mediante un conteo en un microscopio estereoscópico. El criterio para considerar que las larvas se encontraban vivas fue su capacidad para mover sus extremidades.

## 5.6. Análisis de datos

La información proveniente de las encuestas aplicadas a los productores, datos de ovoposición, eclosión y mortalidad de larvas fueron capturadas en una hoja del programa estadístico Excel (Microsoft). La información de las encuestas fue procesada mediante estadística descriptiva, también se realizó una prueba de Chi cuadrada y un análisis de varianza para la comparación entre municipios.

**5.7.1. Prueba de inmersión de adultas.** En la prueba de inmersión de adultas, se utilizó los datos del peso de las garrapatas de cada grupo y el peso de los huevos ovopositados, se calculó el porcentaje de inhibición de la ovoposición mediante la siguiente fórmula:

$$\% I. O. = \frac{PLt - PHLt}{pLT - PHLT} \times 100$$

Donde:

PLt= Peso de las hembras del grupo tratado

pLT= Peso de las hembras del grupo testigo

PHLt= Peso de los huevos del grupo tratado

PHLT= Peso de los huevos del grupo testigo

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

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

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

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

Donde:

RET= Reproducción estimada en el grupo testigo

REt= Reproducción estimada en el grupo tratado

**5.7.2. Prueba de paquete larvario.** Para conocer la mortalidad real, se utilizó la siguiente fórmula:

$$PCM = \frac{\% \text{ mortalidad grupo tratado} - \% \text{ mortalidad grupo testigo}}{100 - \% \text{ de mortalidad grupo testigo}} \times 100$$

Donde:

PCM = Porcentaje corregido de mortalidad

En la prueba de paquete larvario para determinar la  $CL_{50}$ ,  $CL_{90}$  y  $CL_{99}$ , se requirieron los datos de las concentraciones utilizadas, número de garrapatas por grupo y los distintos porcentajes de respuesta obtenidos en el bioensayo. Una vez determinados los porcentajes de mortalidad real por concentración se procedió a aplicar el análisis Probit para establecer la tendencia de la respuesta calculando la  $CL_{50}$ ,  $CL_{90}$  y  $CL_{99}$ , utilizando el programa Polo Plus®.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Prácticas de manejo asociadas al establecimiento de la resistencia de la garrapata a ixodícidas, en unidades de producción de tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca

La resistencia es un fenómeno complejo que involucra factores múltiples que están bajo el control de los seres humanos (Lara, 2007). El productor es responsable del establecimiento de la resistencia al hacer uso inadecuado de los diferentes principios activos existentes en el mercado. En el Cuadro 4 se observan algunas características del productor y de la unidad de producción, así como del manejo del pastoreo en tres municipios de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

**Cuadro 4.** Características del productor y de la unidad de producción, así como del manejo del pastoreo en unidades de producción bovina con influencia potencial en el control químico y establecimiento de la resistencia a ixodícidas de la garrapata *R. microplus* en unidades de producción bovina de tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

| Características de manejo     | Loma Bonita | Tuxtepec    | Ojitlán     | Global     |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Edad del productor (años)     | 55.6 ± 3    | 53.6 ± 2    | 59.4 ± 2.2  | 56.4 ± 1.3 |
| Experiencia (años)            | 27.7 ± 2.6  | 27.7 ± 2.5  | 29.8 ± 2.4  | 28.5 ± 1.4 |
| Superficie de pastizales (ha) | 24.5 ± 3.6b | 37.1 ± 4.5a | 21.6 ± 2.4b | 27.9 ± 2.2 |
| Número de potreros            | 5.7 ± 0.7b  | 9.6 ± 1.6a  | 5.0 ± 0.8b  | 6.8 ± 0.7  |
| Tipo de pastoreo (%)          |             |             |             |            |
| Continuo                      | 33.3        | 28.1        | 24.2        | 28         |
| Rotacional                    | 66.7        | 71.8        | 75.8        | 71.9       |
| Tipo de vegetación (%)        |             |             |             |            |
| Media                         | 79.2        | 87.5        | 87          | 84.5       |
| Baja                          | 20.8        | 12.5        | 12.9        | 15.4       |

Literales diferentes en cada renglón indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

Aunque la edad de los productores y la cantidad de años que se han dedicado a la ganadería no son características de manejo, estas variables podrían influir en la forma en que los productores realizan sus actividades dentro de las unidades de producción. En este sentido, se ha determinado que existen factores que influyen en la adopción de nuevas tecnologías en los productores

pecuarios. Así, en un estudio realizado en México, Salas *et al.* (2013) observaron que existió un menor nivel de adopción de tecnologías en los productores inscritos al programa PROGAN que tuvieron una edad superior a 50 años y bajo nivel de escolaridad. En el presente estudio, los productores tuvieron una edad global de 56.4 años y no se observaron diferencias entre municipios ( $P>0.05$ ). Por otra parte, los años de experiencia en la ganadería tuvieron un promedio global de 28.5 años, sin haber diferencias entre los tres municipios ( $P>0.05$ ). Este resultado es diferente a lo observado por Martínez-Castro *et al.* (2020), quienes encontraron una relación positiva entre los años de experiencia y la adopción de nuevas tecnologías. La adopción de nuevas tecnologías es importante en la actividad pecuaria, ya que están basadas en la investigación científica y permiten realizar cambios en la forma tradicional de producir con el objetivo de incrementar la competitividad de las unidades de producción (Torres *et al.*, 2014). Uno de los paquetes tecnológicos más utilizados en la ganadería bovina es el control químico de las garrapatas. En la actualidad, se deben considerar conocimientos científicos actualizados para evitar, por ejemplo, los problemas de resistencia a ixodícidas. Por ello, se requiere de productores dispuestos a innovar en la cadena de producción. Esto es similar a lo reportado por Parra-Cortés y Magaña-Magaña (2019), quienes encontraron que la edad promedio de los productores es de 53 años, mientras que, en promedio tenían 24 años dedicándose a la ganadería. La edad puede ser una limitante para la transferencia de tecnologías dirigidas al control de la garrapata, debido a la poca o nula aceptación por parte de los productores de mayor edad. Por lo tanto, al seguir practicando manejos inadecuados en el control químico, causan un mayor establecimiento de la resistencia a los ixodícidas (Mairena y Portocarrero, 2005).

De los tres municipios incluidos en el estudio, las unidades de producción de Tuxtepec tuvieron una mayor superficie de pastizales y número de potreros ( $P<0.05$ ). Una mayor superficie, permite dividir el terreno en un mayor número de potreros y alojar más animales. Sin embargo, esto puede dificultar el control de la garrapata, ya que, al tener una mayor cantidad de huéspedes

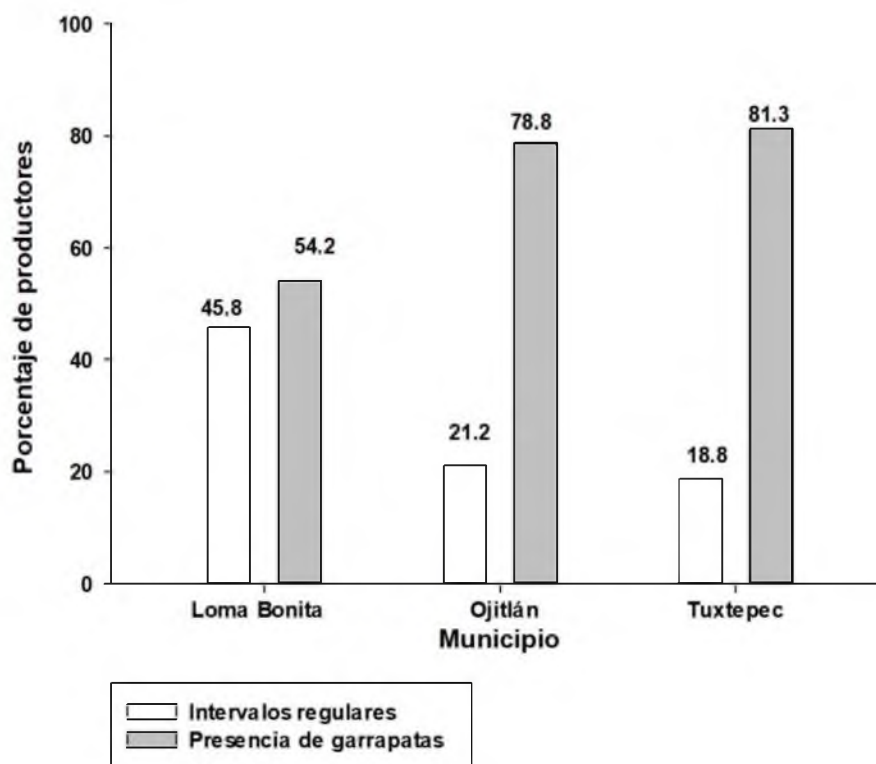
disponibles, las garrapatas pueden completar su ciclo biológico de manera más fácil (Nari, 2005). Por otra parte, el tener un mayor número de potreros disponibles, permite realizar un pastoreo rotacional más eficiente con periodos de descanso más prolongados, lo cual podría interrumpir el ciclo biológico causando que las larvas mueran por la falta de huéspedes. Lo anterior reduciría los daños directos al animal y la postura de huevos de la siguiente generación de garrapatas (Hernández, 2005). En el presente estudio, se observó en promedio una superficie de pastoreo y número de potreros de 27.9 ha y 6.8, respectivamente. Lo anterior, coincide con Orantes-Zebadúa *et al*, (2014), quienes, en un estudio realizado en Chiapas, reportaron que los pequeños productores de la ganadería doble propósito cuentan con una superficie promedio en sus unidades de producción de 26 ha.

Las unidades de producción de los tres municipios no mostraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) con respecto a los tipos de pastoreo. El tipo de pastoreo que más se practicó fue el rotacional con un 71.9 %. Este resultado es parecido al reportado por Budovski (2021), quien realizó un estudio en Córdoba, Argentina con 64 productores inscritos a la Asociación Argentina de Brangus y observó que el 66.7 % de los productores practicaba el pastoreo rotacional. Este tipo de pastoreo favorece el control de la garrapata mediante el manejo de las praderas. Un uso eficiente de las divisiones influye en el ciclo biológico de la garrapata. Por el contrario, practicar un pastoreo continuo permite que el ciclo biológico de las garrapatas se complete con mayor facilidad, haciendo necesario un mayor uso de garrapaticidas y contribuyendo con el establecimiento de la resistencia (Broglio-Micheletti *et al.* 2012). El resultado de este estudio indica que la mayor parte de los productores tiene conocimiento sobre los beneficios del pastoreo rotacional. Este tipo de pastoreo podría aplicarse como método para ayudar a disminuir la dinámica poblacional de la garrapata y retrasar el establecimiento de la resistencia.

Las unidades de producción tampoco mostraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en lo referente al tipo de vegetación. La altura de la vegetación influye

en el desarrollo del ciclo de la garrapata, ya que si es alta lo puede favorecer y si es baja lo puede obstaculizar. El 85 % de las unidades de producción incluidas en el estudio presentó vegetación baja. Este tipo de vegetación favorece el control de la garrapata, ya que hay una mayor muerte de huevos y larvas por la poca o nula protección de la cubierta vegetal ante los rayos solares (Alemán *et al.*, 2014).

El control químico es el principal método que utilizan los productores de bovinos para controlar la garrapata. Sin embargo, cuando las prácticas de manejo no se llevan a cabo de manera adecuada, es establecimiento de la resistencia se puede presentar más rápido. Uno de los factores de mayor influencia en el establecimiento de la resistencia es el criterio que utilizan los productores para realizar el baño garrapaticida. En la Figura 1 se muestra esta variable en los tres municipios incluidos.



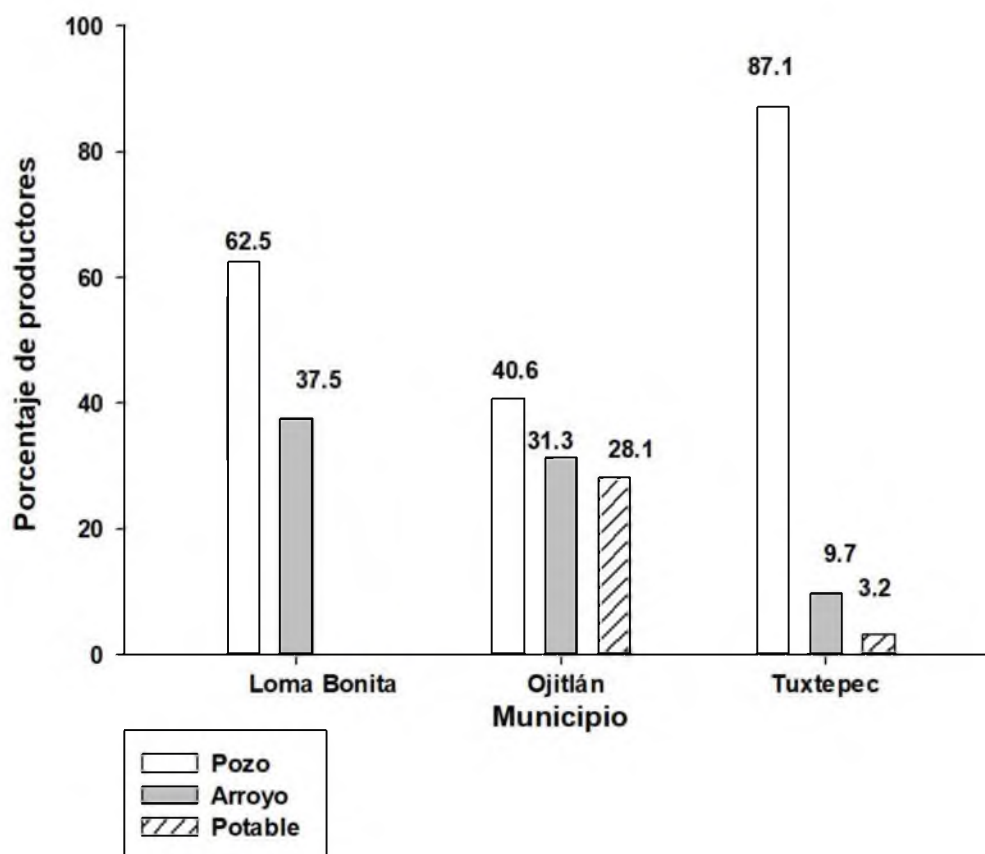
**Figura 1.** Porcentaje de los diferentes municipios sobre el criterio de los productores para la realización del baño garrapaticida.

El análisis global del criterio de los productores para realizar el baño garrapaticida, mostró que el 73 % de los productores ocupó como criterio la presencia de garrapatas sobre la superficie corporal de los animales, mientras que el resto (27 %) realizó los baños garrapaticidas a intervalos regulares. Cuando el criterio para realizar el baño garrapaticida se analizó entre municipios, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $P=0.0589$ ), aunque la diferencia numérica fue evidente, principalmente entre Tuxtepec y Loma Bonita.

Estos resultados difieren de lo observado por Schleske (2011), quien realizó un estudio en la región centro de Veracruz mediante la aplicación de una encuesta a 96 productores y determinó que el 20 % de los productores bañaba en función de la presencia de garrapatas y el 64 % con base en un periodo de tiempo establecido. La diferencia entre ambos estudios es difícil de explicar debido a que ambas zonas utilizan cruza de *Bos taurus* y *Bos indicus*, además, comparten características de región tropical. Por lo tanto, se podría pensar en diferencias en el manejo del control químico debido a la idiosincrasia de los productores.

Uno de los factores que puede influir en la eficacia de los ixodicidas cuando se utilizan en mezclas garrapaticidas es la procedencia del agua. En la Figura 2 se muestra la procedencia del agua que utilizan los productores de los tres municipios incluidos en el estudio.

El origen del agua es un factor determinante influye de manera directa en la eficiencia del garrapaticida debido a que puede presentar materia orgánica que inactiva a los principios activos, o bien, influye en el pH de la mezcla. Los diferentes grupos de ixodicidas actúan con pH específicos. Así, las amidinas son más efectivas a un pH alcalino, mientras que los organofosforados y piretroides funcionan mejor en un pH ácido (Carmona, 2006).



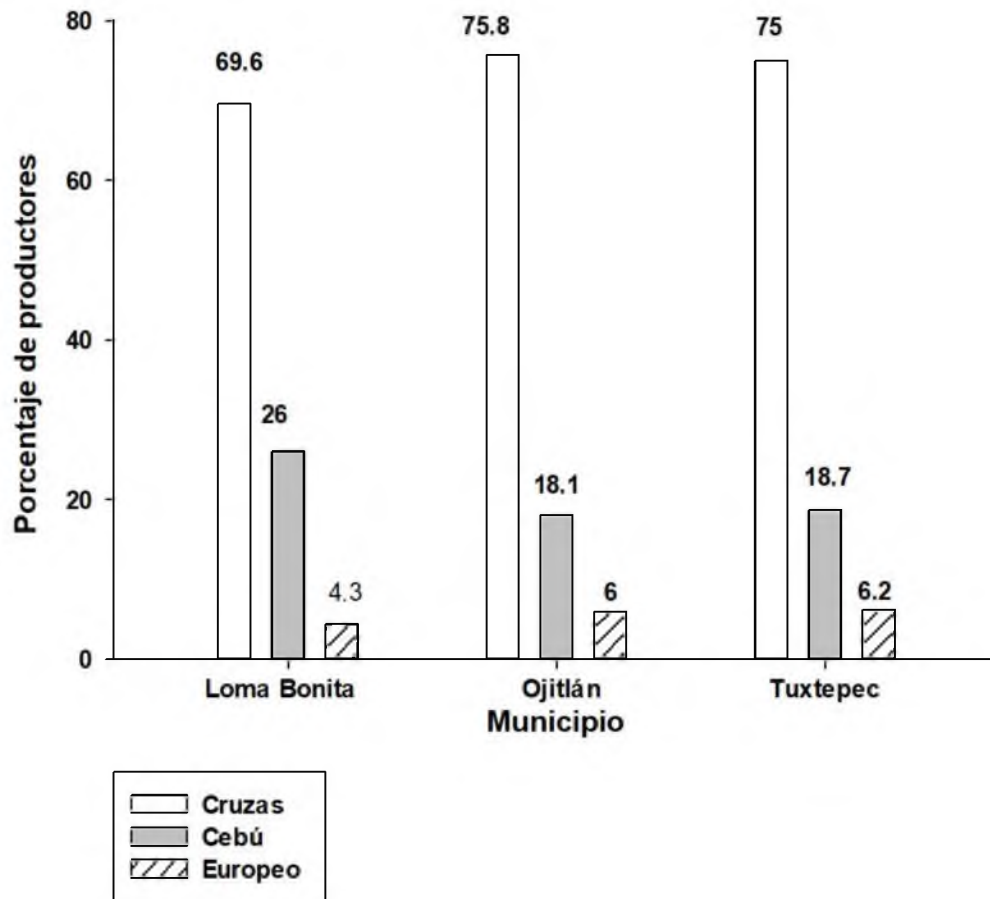
**Figura 2.** Origen del agua utilizada para realizar las mezclas de ixodicidas en unidades de producción de tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

Los productores de los tres municipios incluidos en el estudio, indicaron de manera global que en el control químico de la garrapata utilizan principalmente el agua proveniente de pozos (59 %). Al comparar entre municipios, las proporciones no muestran diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0.05$ ). El mayor uso de agua de pozo en la elaboración de mezclas garrapaticidas coincide con lo reportado por Gutiérrez y Mendieta (2018), quienes realizaron un estudio en 153 sistemas ganaderos de doble propósito en los departamentos de Rivas y Carazo, Nicaragua y observaron que las principales fuentes de agua para uso pecuario fueron pozos (79%), seguido de quebradas (63%), ríos (58%) y reservorios (4%). El mayor uso de agua de pozo se relaciona con las características de los terrenos, ya que muchos no

cuentan con acceso al agua en su superficie, por lo que se deben realizar excavaciones. El agua de pozo puede contener minerales que afectan su pH y la eficacia de la mezcla (Gómez-Martínez *et al.*, 2014).

Dentro de las unidades de producción, la genética se constituye como uno de los principales factores que influye en el establecimiento de la resistencia a los ixodíctidos. Existe el consenso de que las razas cebuínas son más resistentes a las garrapatas que las razas de ganado europeo. Aunque la base de los animales ubicados en las zonas tropicales de México son las cruzas entre ambos grupos de razas, las mismas se llevan a cabo de una manera indiscriminada, por lo que actualmente los animales no guardan un patrón genético definido, mostrando diferentes proporciones de genes. Por ello, a nivel de campo se puede observar ganado con diferentes grados de susceptibilidad a las garrapatas. En la Figura 3 se muestran las proporciones de ganado europeo, ganado cebuino y cruzas que poseen los productores de los tres municipios incluidos en el estudio, dentro de sus unidades de producción.

La crusa entre razas europeas y ganado cebuino fue la que dominó en el ganado que poseen los productores de los tres municipios incluidos, con un 75 %. Este resultado es similar a lo observado en un estudio que se realizó en Dobladero, José Azueta, Veracruz. En ese trabajo se entrevistó a 30 productores, con el objetivo de caracterizar las unidades de producción y se observó que los hatos están conformados en un 76.7 % por cruzas de *Bos indicus* y Pardo Suizo. Por otro lado, la proporción de animales europeos fue muy baja, con porcentajes que oscilaron entre 4.3 % y 6.2 %. Esto también guarda relación con el control químico de la garrapata porque es ampliamente aceptado que las razas europeas son más susceptibles a las garrapatas (López y Briceño, 2014) y, por lo tanto, requieren de un mayor uso de ixodíctidos.

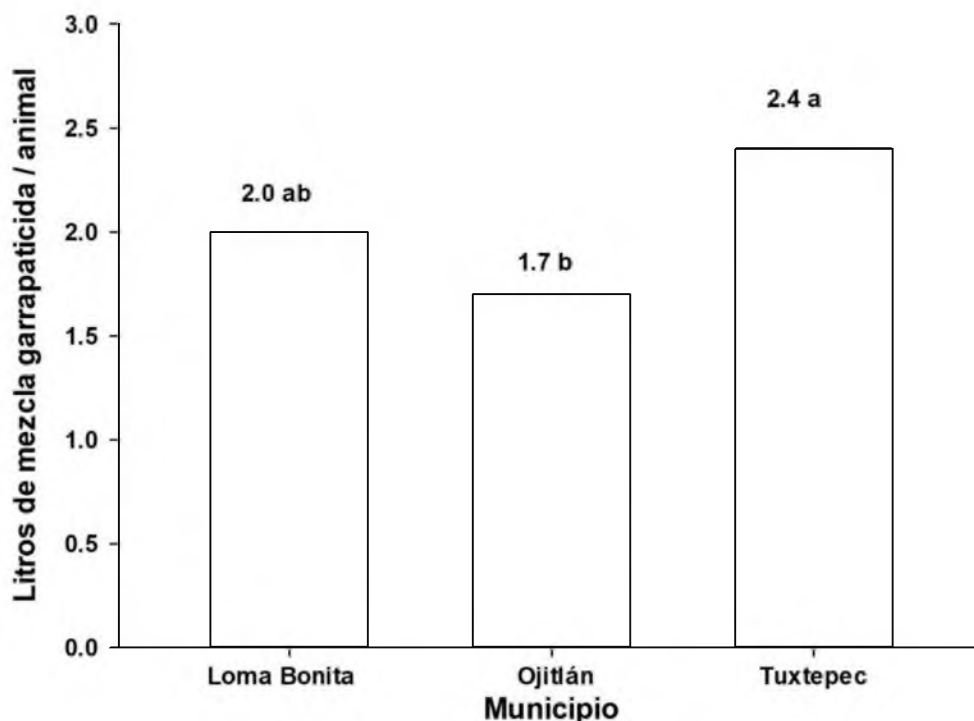


**Figura 3.** Porcentaje de elección sobre razas bovinas utilizadas para la conformación del hato en tres municipios de la Región Cuenca del Papaloapan Oaxaca.

Los tres municipios muestran una conformación de hato en el que predominan las cruzas entre ganado cebuino y la raza Pardo Suizo. Esto se debe a que la mayoría de los productores buscan el vigor híbrido, buscando la rusticidad y resistencia del ganado cebú y la productividad del Pardo Suizo. El vigor híbrido es especialmente importante en las zonas tropicales en las que abundan los factores climáticos adversos y la presencia de parásitos hematófagos.

De todos los factores que influyen en la eficacia de los ixodicidas, las fallas en el manejo del control químico tal vez sean la principal causa de la aparición de la resistencia. De manera consciente o inconsciente, los productores realizan subdosificación de productos químicos. La subdosificación tiene dos

modalidades que incluyen la preparación de mezclas con una menor cantidad de producto comercial de lo que recomiendan los laboratorios, o bien, llevar a cabo el baño garrapaticida en una menor cantidad de tiempo, exponiendo a las garrapatas a una menor concentración. Esta última modalidad es en la que incurren más los productores. En la Figura 4 se muestra la cantidad de litros de mezcla garrapaticida utilizados por animal.

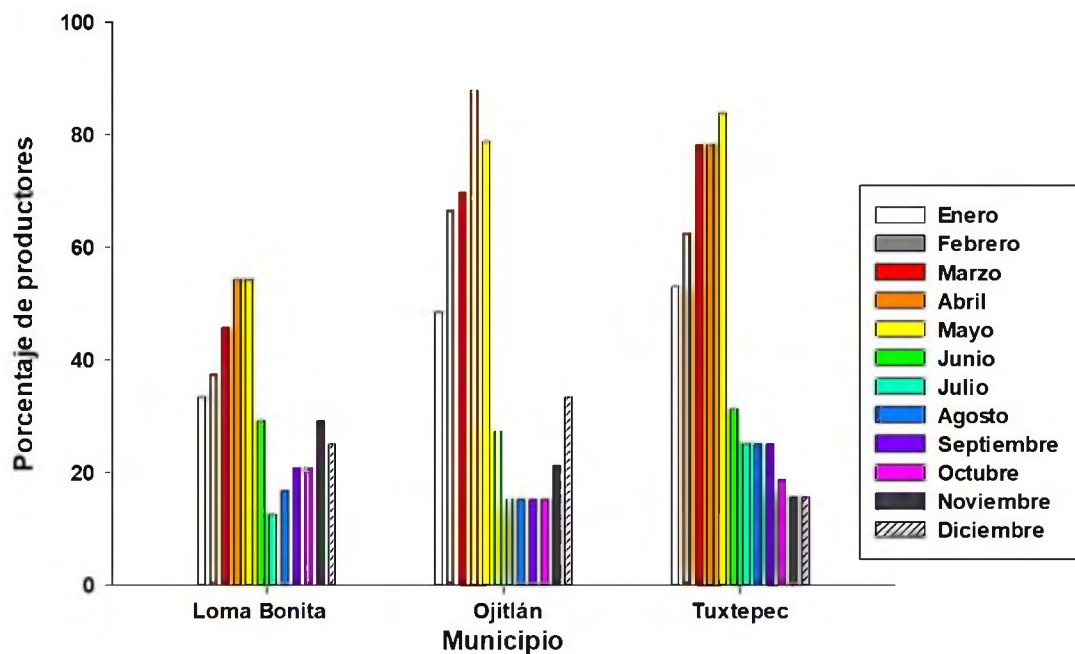


**Figura 4.** Promedio de litros de mezcla garrapaticida aplicada durante el baño de aspersión en tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ).

Un manejo adecuado de los ixodicidas durante el control químico de la garrapata es fundamental para alcanzar el éxito. Sin embargo, casi siempre el baño de aspersión se realiza de manera errónea por parte del productor, debido a que utiliza una menor cantidad de litros por animal que la recomendada por el laboratorio. En este estudio el promedio de litros utilizados por animal durante el baño garrapaticida mostró diferencias significativas

( $P < 0.05$ ) entre los municipios de Tuxtepec y Ojitlán con 2.4 y 1.7 L de mezcla usada por animal. El promedio de litros fue superior a lo observado por Schleske (2011), quien en un estudio donde encuestó a 96 productores de la zona centro de Veracruz y reportó el uso de 1.5 litros por animal en promedio. Esta cantidad de mezcla es mucho menor a lo recomendado por los laboratorios. Rodríguez-Vivas *et al.*, (2006), mencionan que para obtener resultados satisfactorios en el control de *R. microplus*, se requiere aplicar seis y cuatro litros de solución ixodicida en animales adultos y jóvenes, respectivamente. Un mal manejo del control químico en los baños garrapaticidas, se debe principalmente a que las dosis arbitrarias que utilizan los productores son menores a las recomendadas, propiciando el establecimiento de la resistencia en la garrapata, misma que se transmitirá a la siguiente generación (Rivera *et al.*, 2009).

En la Figura 5 se muestra el porcentaje de percepción sobre la presencia de la garrapata en los diferentes meses del año, de acuerdo con los productores de los tres municipios incluidos en el estudio.

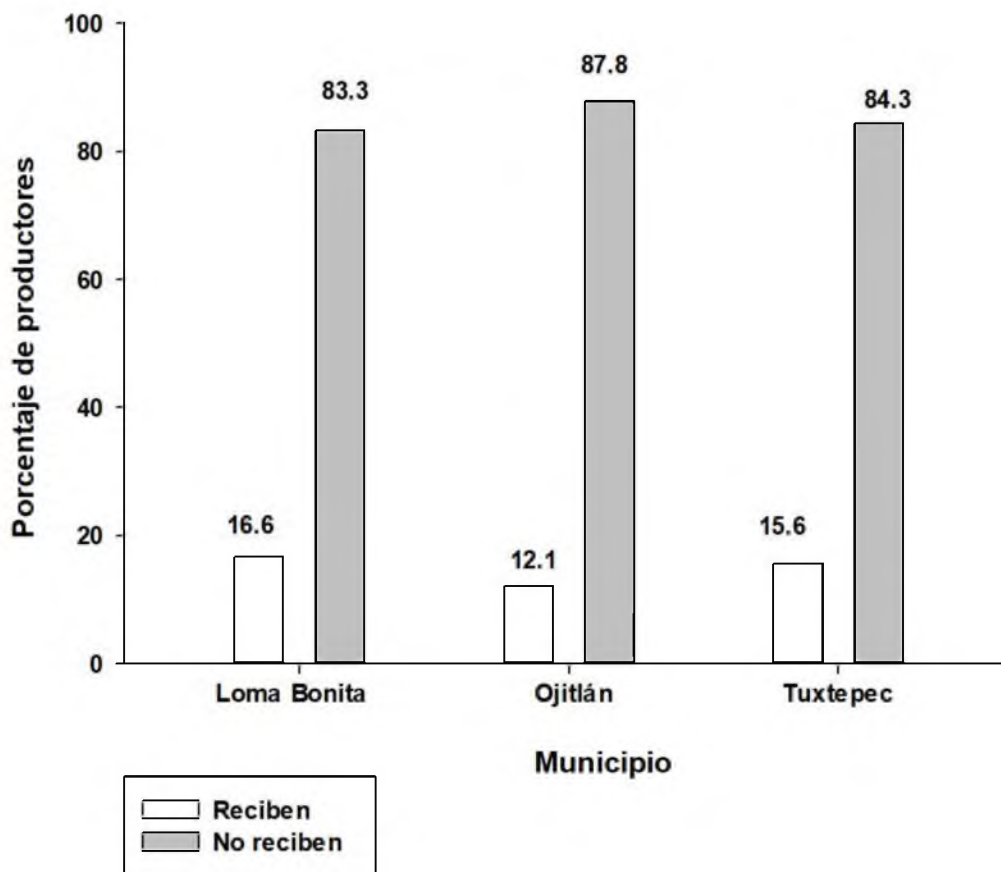


**Figura 5.** Porcentaje de percepción sobre la presencia de la garrapata en los diferentes meses del año en tres municipios de la región Cuenca del Papalapan, Oaxaca.

La presencia de la garrapata es más notoria en algunas épocas del año de acuerdo a las condiciones climáticas que se presentan. De acuerdo con la Figura 5, los productores perciben que hay una mayor presencia de garrapatas en el ganado entre marzo y mayo, que corresponden a la época de sequía en la región del trópico. Este resultado es similar a lo descrito por Contreras-Ortega (2014), en tres municipios de Colombia. El autor mencionado reportó que la presencia de garrapatas es más alta en el periodo de sequía (89 %) que en el periodo lluvioso (11 %), bajo las mismas condiciones de trópico. Los resultados del presente estudio y el previamente citado están ligado estrechamente a las condiciones que cada estación climática presenta. En la época lluviosa, existen condiciones óptimas para la ovoposición de las hembras y la conservación de la masa de huevos. En cambio, en el periodo de sequía hay un aumento de la dinámica poblacional de las garrapatas, lo cual es causado por la eclosión de las larvas y su espera en busca de un huésped para continuar con el ciclo biológico (Jacho-Merino, 2015).

Uno de los factores que más inciden en el manejo de las enfermedades y plagas del ganado es la capacitación y asesoría técnica que reciben los productores. La Figura 6 indica los porcentajes de productores por municipio que reciben asesoría técnica sobre el control de la garrapata.

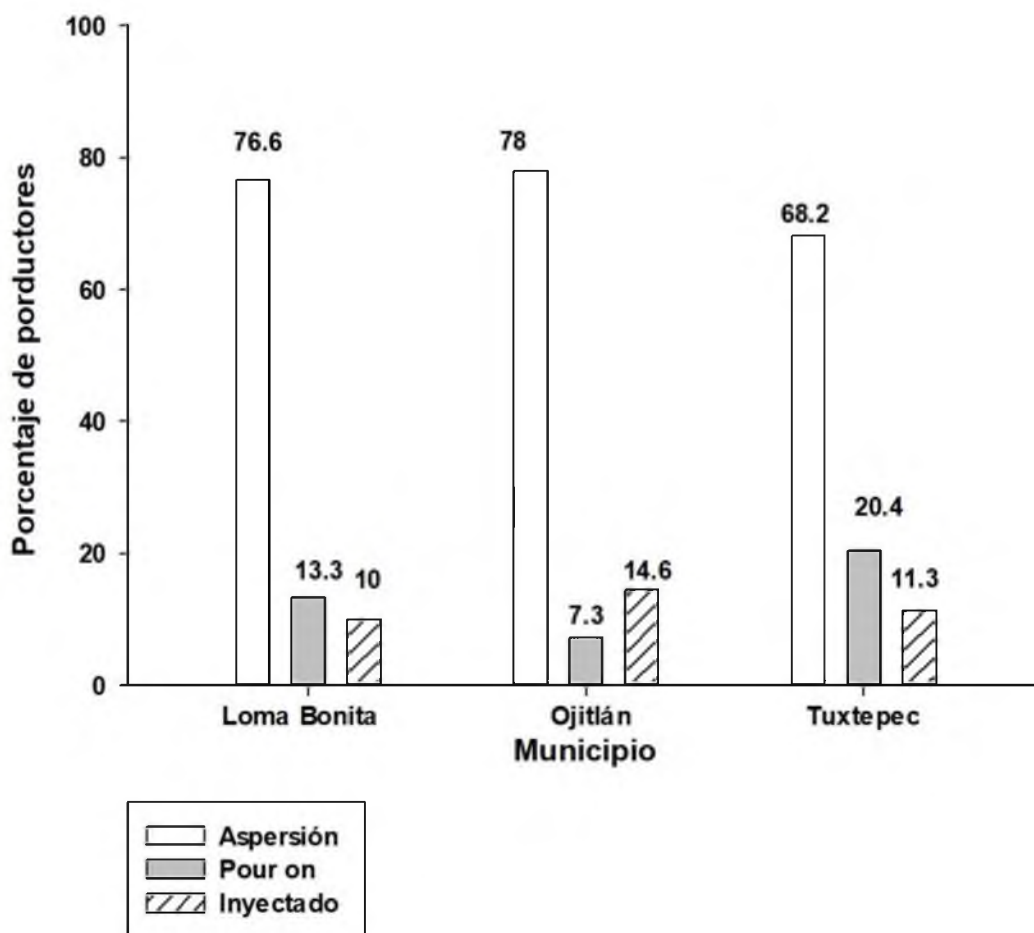
La asesoría técnica es fundamental para llevar a cabo buenas prácticas pecuarias, especialmente en lo referente al manejo adecuado de medicamentos. Sin embargo, la mayor parte de los pequeños productores que se ubican en los tres municipios incluidos en el estudio, rara vez tiene acceso a la asesoría técnica debido a su alto costo y a los pocos veterinarios que ofrecen sus servicios en la región. En este sentido, la escasa asesoría técnica que reciben se restringe a las recomendaciones del personal de las veterinarias locales, quienes emiten recomendaciones sin considerar el historial de manejo químico de la garrapata ni las características específicas de las unidades productivas.



**Figura 6.** Porcentaje de productores que reciben asesoría técnica para el control de la garrapata en tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

La Figura 6 muestra que la mayor parte de los productores (85.2 %) de los tres municipios incluidos en el estudio, no recibe asesoría técnica para realizar el control químico de la garrapata. Esto coincide con lo observado por Schleske (2011), quien en un estudio similar en la zona centro de Veracruz, reportó que 74 de 96 productores (77 %) no contaron con asesoría técnica o profesional para el control de garrapatas. Esta situación puede influir en la presentación de la resistencia, ya que el productor al no contar con la asesoría técnica, lleva a cabo de manera errónea los baños garrapaticidas, debido a que muchas veces predominan sus costumbres o recomendaciones de otros ganaderos en cuanto a las combinaciones empíricas de productos o dosificaciones arbitrarias, que las recomendaciones realizadas por un profesional (Romero-Nasayo *et al.*, 1997).

La presentación comercial de los productos utilizados en el control químico de la garrapata, determina su forma de utilizarse. Actualmente, se usan muchos productos comerciales, los cuales, dependiendo de su formulación, pueden aplicarse por diferente vía. Así, la vía de administración más utilizada para los ixodicidas es a través de baños, ya sea de aspersión o de inmersión. Asimismo, hay productos que se pueden administrar mediante inyección subcutánea o por derrame dorsal (*pour on*). La Figura 7, muestra los porcentajes de la vía de administración de ixodicidas utilizada por los productores para el control químico de la garrapata en unidades de producción de tres municipios de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.



**Figura 7.** Vías de administración de garrapaticidas utilizadas por los productores bovinos en tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

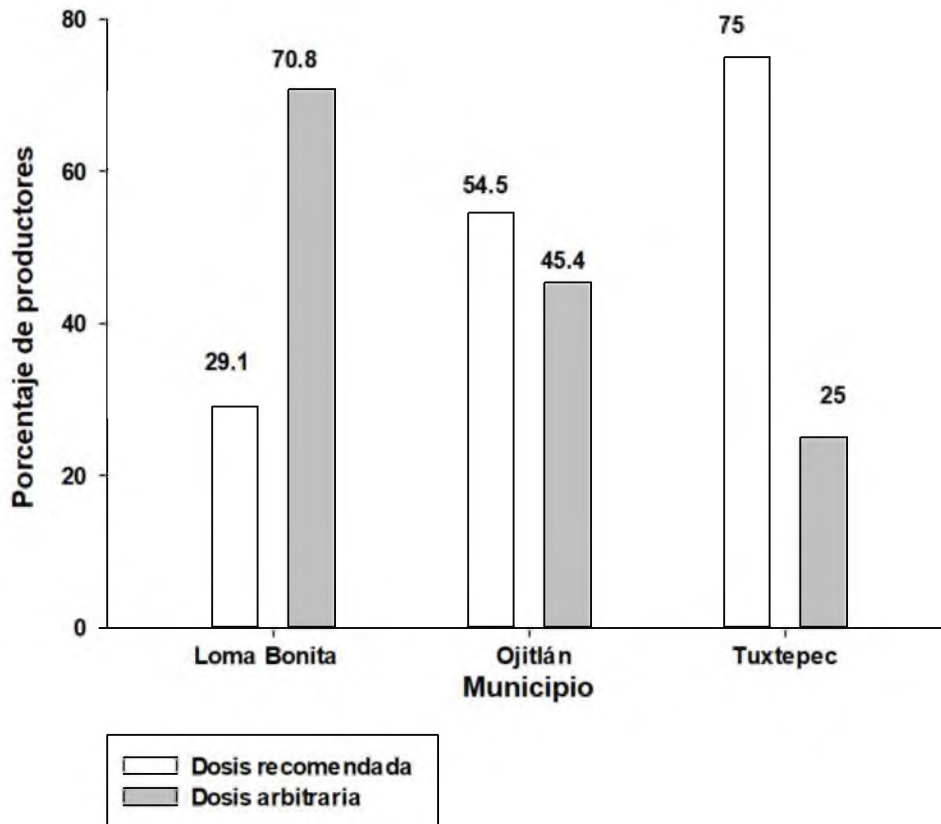
En la Figura 7, se observa que el método preferido para la administración de los ixodicidas en el ganado bovino está representado por los baños de aspersion, seguido por el derrame dorsal (*pour on*) y la vía inyectable.

En promedio, 74 % de los productores administra los ixodicidas mediante el baño de aspersion. Este es similar a lo reportado por Schleske (2011), quien en un estudio donde participaron 96 productores mediante una encuesta en el centro de Veracruz, observó que el 98 % de los productores prefería administrar los ixodicidas al ganado mediante método de aspersion con bomba manual.

Los métodos para el control químico de la garrapata han evolucionado a lo largo del tiempo, especialmente en los últimos años. Sin embargo, algunas de las actividades relacionadas con su control químico se han preservado por generaciones, incluyendo las maneras erróneas de realizarlo.

La alta proporción de productores que utiliza el método de aspersion podría deberse a la facilidad con la que se puede realizar. Sin embargo, en este método los productores pueden incurrir en varias fallas, por ejemplo, las dosificaciones erróneas, el tiempo de baño reducido, la incapacidad para ofrecer un contacto homogéneo entre el ixodicida y las garrapatas situadas en diferentes regiones anatómicas de los animales.

En la Figura 8, se muestra el criterio que utilizan los productores para hacer el cálculo de la dosificación para el control químico de la garrapata en tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.



**Figura 8.** Criterio que utilizan los productores de bovinos para llevar a cabo la dosificación de ixodicida en los baños de aspersión contra la garrapata *R. microplus* en tres municipios de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

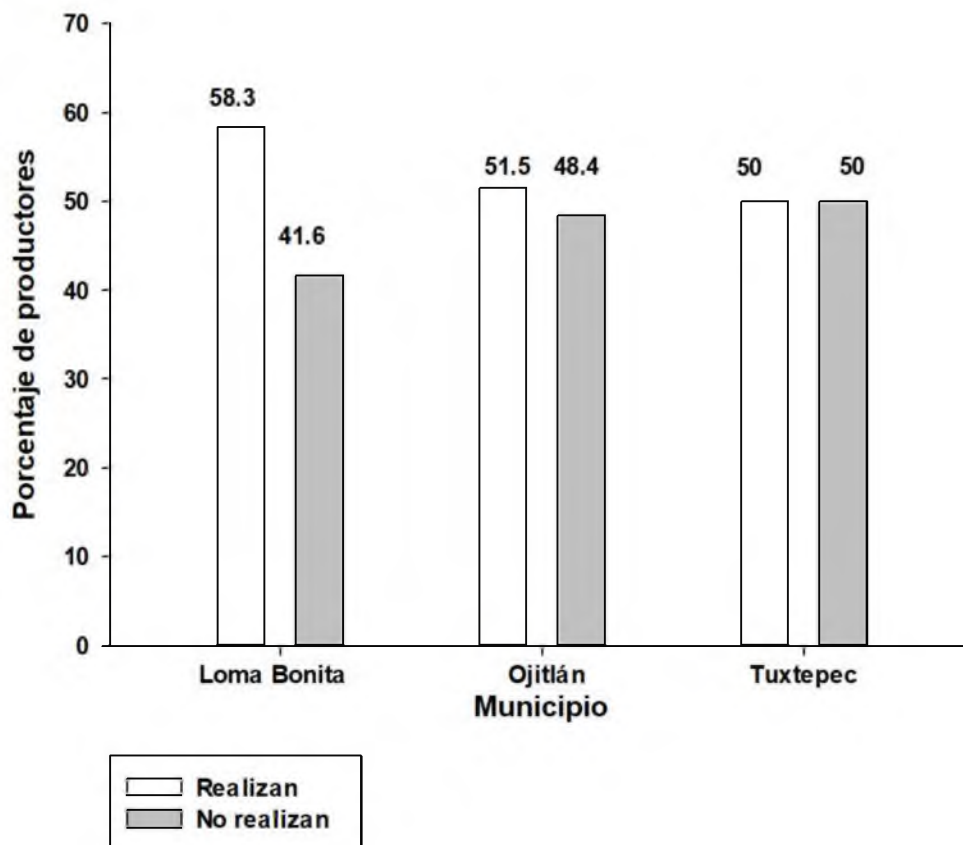
La dosificación de los ixodicidas puede ser un factor determinante para el retraso de la resistencia de la garrapata. El análisis global mostró que el 55 % de los productores de los tres municipios utilizó como base la dosificación arbitraria para establecer la cantidad de ixodicida a utilizar. Esto quiere decir que, para dosificar, los productores utilizaron criterios como agregar una cantidad específica de tapas de ixodicida con base en sus experiencias previas sobre la efectividad de los productos utilizados.

Lo anterior puede provocar fluctuaciones en la concentración final de la mezcla, lo que puede favorecer la resistencia, más que guiarse en el volumen recomendado por el laboratorio. Esto es similar a lo reportado por Schleske (2011), quien observó que el 26 % de los productores sobredosifican, el 39 % dosifica en forma correcta y el 35 % emplea una menor dosis de la

recomendada por el laboratorio fabricante. Lo anterior significó que, el 61 % de los productores incluidos en ese estudio dosificaron de forma inadecuada el producto como una aplicación inadecuada del producto. La dosificación inadecuada podría relacionarse con la falta de consciencia del productor sobre la proporción fija que debe existir entre los volúmenes de agua y del ixodicida, independientemente de la cantidad de mezcla que se prepare.

Uno de los factores más efectivos en el control de la resistencia de la garrapata a ixodicidas consiste en el conocimiento por parte del productor de los diferentes grupos químicos disponibles en el mercado. El saber que existen diferentes grupos químicos y que cada uno de ellos muestra un mecanismo de acción específico, daría herramientas a los productores para utilizarlos de manera alterna, lo que se conoce comúnmente como rotación de ixodicidas. La Figura 9 muestra el porcentaje de productores que realizan rotación de productos garrapaticidas al momento del control químico en los tres municipios incluidos en el estudio.

La rotación de productos garrapaticidas es un factor importante en el establecimiento de la resistencia de la garrapata a ixodicidas. A nivel de campo, las malas prácticas en el control químico de las garrapatas son evidentes en diferentes formas. Así, se observa que muchos productores utilizan un mismo principio activo por mucho tiempo, provocando que la exposición de las garrapatas sea prolongada. Una exposición prolongada o repetida a los ixodicidas se ha asociado a mutaciones que soportan la resistencia de individuos a concentraciones tóxicas de ixodicidas (Moreno, 2023).



**Figura 9.** Porcentaje de productores de ganado bovino que realizan rotación de garrapaticidas, en tres municipios de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

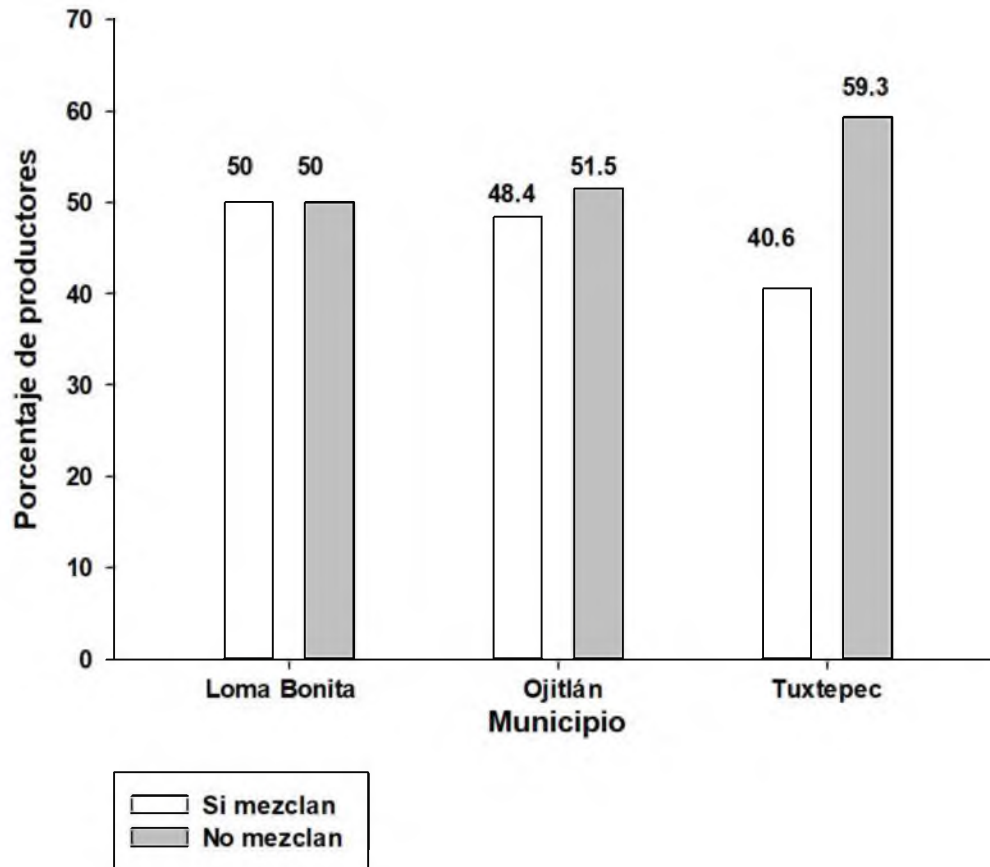
En la Figura 9, se observa una pequeña diferencia entre los productores que realizan rotación y los que no (53 % vs 47 %). Schleske (2011), reportó en un estudio en la zona centro de Veracruz que, de 96 productores encuestados, el 16 % de ellos ha usado siempre una misma familia de ixodicidas y el 72 % ha utilizado al menos dos productos diferentes en su programa de control de garrapatas. En ambos se puede ver que existe el uso de diversas familias de ixodicidas, lo cual puede ser originado por la ineficacia de algunos garrapaticidas. Por ello, el productor busca alternativas en otros productos comerciales. Sin embargo, el productor no tiene conocimiento sobre los diferentes principios activos o familias existentes, por lo que pueden hacer rotación de productos comerciales que contiene el mismo principio activo, lo

que contribuye a un establecimiento más rápido de la resistencia a ixodicidas a nivel de campo (Schleske, 2011; Brizo y Lepe, 2022).

Una de las principales causas de falla de los ixodicidas en el control químico de la garrapata se debe a que los productores mezclan de manera empírica diferentes productos comerciales, sin la supervisión de un técnico. La mezcla de productos garrapaticidas sin un sustento científico puede generar la inactivación mutua de los principios activos. En la Figura 10 muestra el porcentaje de productores que realizan de manera empírica la mezcla de garrapaticidas en tres municipios de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

El porcentaje de productores que realiza mezclas de ixodicidas de manera empírica es superior al 40 %. La mezcla de garrapaticidas tiene sentido si se trata de dos sustancias activas con mecanismos de acción diferentes y si el parásito aún no es resistente a ninguna de las dos sustancias activas (Valdez, 2009).

Sin embargo, la mayoría de los productores desconocen de los principios activos y grupos toxicológicos utilizados para el control químico de la garrapata. Por ello, Rodríguez-Vivas *et al.* (2006) consideran la mezcla de ixodicidas como un factor de riesgo potencial para la aparición de garrapatas resistentes hacia los ixodicidas.



**Figura 10.** Porcentaje en la mezcla de productos ixodicidas utilizados para el control químico por parte de los productores en tres municipios de la región Cuenca de Papaloapan, Oaxaca.

Actualmente, existen mezclas de ixodicidas disponibles en el mercado nacional, que tienen la ventaja de combatir garrapatas y moscas al mismo tiempo. No obstante, el riesgo de generar poblaciones de garrapatas resistentes a los ixodicidas es mayor, por lo que su uso debe realizarse mediante esquemas previamente diseñados (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2014).

## 6.2. Determinación de la resistencia de la garrapata *R. microplus* a grupos de ixodicidas mediante la técnica de inmersión de adultas

Los bioensayos son las técnicas más utilizadas en la actualidad para la determinación de la resistencia de la garrapata *R. microplus* a los diferentes grupos ixodicidas. Dentro de ellos, la prueba de inmersión de adultas tiene como objetivo mostrar el efecto de un ixodicida dado en la función reproductiva de las garrapatas. Sin embargo, su principal desventaja es que se requiere un número grande de garrapatas y de un tiempo relativamente largo para obtener resultados (Valdez, 2009).

**6.2.1. Coumaphos.** Dentro de los organofosforados, el coumaphos es el principio activo más utilizado en México. En el Cuadro 5, se muestra el efecto del coumaphos sobre algunas variables reproductivas de la garrapata *R. microplus* en unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

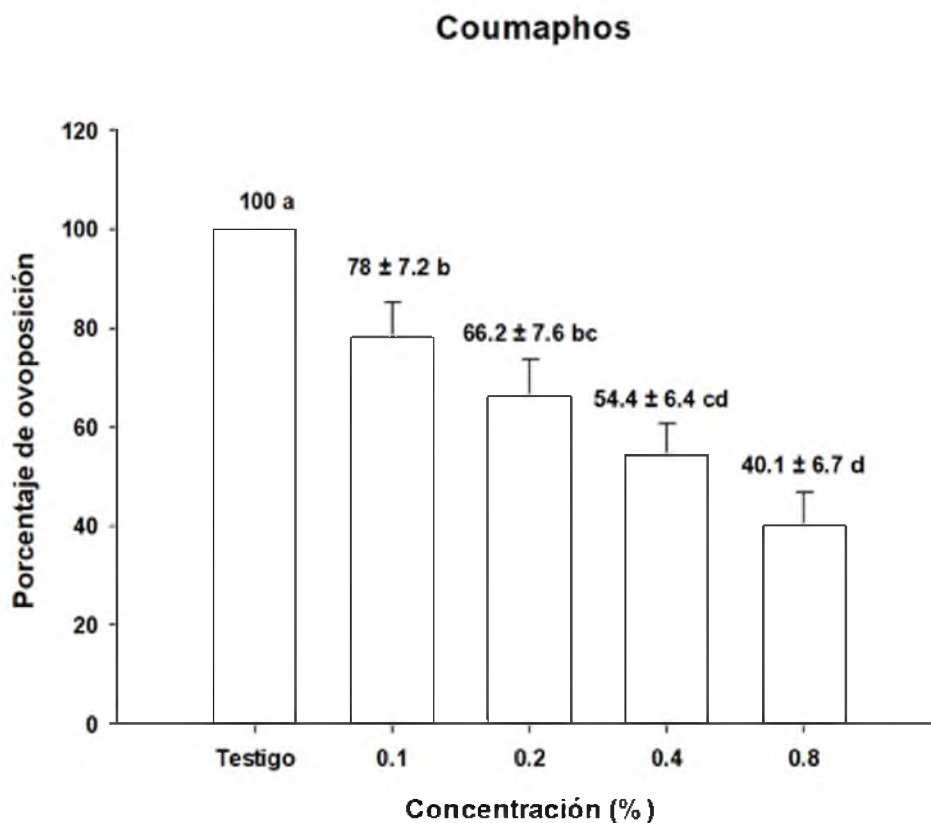
**Cuadro 5a.** Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con coumaphos a dosis múltiple en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

| Rancho        | Grupo   | Ovoposición (%) | Eclosión (%) | Reproducción estimada | Control (%) |
|---------------|---------|-----------------|--------------|-----------------------|-------------|
| El Manantial  | Testigo | 100.0           | 94.0         | 358,497               | 0           |
|               | 0.1     | 94.3            | 77.2         | 291,322               | 23.1        |
|               | 0.2     | 89.4            | 74.2         | 238,805               | 40.4        |
|               | 0.4     | 77.7            | 74.1         | 234,393               | 49.2        |
|               | 0.8     | 71.4            | 70.8         | 277,932               | 44.6        |
| San Fernando  | Testigo | 100.0           | 99.6         | 189,240               | 0           |
|               | 0.1     | 96.9            | 99.3         | 201,500               | 0           |
|               | 0.2     | 88.7            | 99.0         | 188,219               | 0.5         |
|               | 0.4     | 85.7            | 98.7         | 191,399               | 0           |
|               | 0.8     | 58.3            | 97.9         | 129,169               | 31.7        |
| Arroyo Metate | Testigo | 100.0           | 99.8         | 217,205               | 0           |
|               | 0.1     | 81.0            | 99.8         | 172,235               | 20.7        |
|               | 0.2     | 71.3            | 99.6         | 147,448               | 32.1        |
|               | 0.4     | 69.2            | 99.2         | 159,137               | 26.7        |
|               | 0.8     | 55.6            | 98.6         | 143,483               | 33.9        |

**Cuadro 5b (continuación).** Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con coumaphos a dosis múltiple en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

| Rancho         | Grupo   | Ovoposición (%) | Eclosión (%) | Reproducción estimada | Control (%) |
|----------------|---------|-----------------|--------------|-----------------------|-------------|
| San Benito     | Testigo | 100.0           | 100.0        | 188,740               | 0           |
|                | 0.1     | 94.7            | 99.4         | 181,922               | 3.6         |
|                | 0.2     | 87.8            | 98.8         | 152,014               | 19.5        |
|                | 0.4     | 49.5            | 98.6         | 84,638                | 55.2        |
|                | 0.8     | 46.2            | 95.8         | 105,687               | 44.0        |
| Desparramadero | Testigo | 100.0           | 100          | 15,200                | 0           |
|                | 0.1     | 100.0           | 100          | 37,460                | 100         |
|                | 0.2     | 93.4            | 100          | 74,000                | 100         |
|                | 0.4     | 61.2            | 99.3         | 51,219                | 100         |
|                | 0.8     | 47.2            | 97.9         | 33,521                | 100         |
| La Virgen      | Testigo | 100.0           | 99.7         | 207,356               | 0           |
|                | 0.1     | 50.4            | 99.6         | 96,353                | 53.5        |
|                | 0.2     | 38.1            | 98.5         | 122,436               | 41.0        |
|                | 0.4     | 37.3            | 98.2         | 95,018                | 54.2        |
|                | 0.8     | 16.5            | 96.5         | 44,236                | 78.7        |
| Don David      | Testigo | 100.0           | 99.6         | 249,837               | 0           |
|                | 0.1     | 31.2            | 98.8         | 45,547                | 81.8        |
|                | 0.2     | 16.3            | 98.8         | 54,735                | 78.1        |
|                | 0.4     | 13.9            | 94.4         | 10,365                | 95.9        |
|                | 0.8     | 2.9             | 85.8         | 65,242                | 73.9        |
| La Sorpresa    | Testigo | 100.0           | 100.0        | 86,760                | 0           |
|                | 0.1     | 100.0           | 99.8         | 96,487                | 0           |
|                | 0.2     | 53.3            | 99.7         | 12,682                | 85.4        |
|                | 0.4     | 40.1            | 98.7         | 29,689                | 65.8        |
|                | 0.8     | 15.0            | 98.0         | 44,374                | 48.9        |
| Ojitlán        | Testigo | 100.0           | 100.0        | 106,820               | 0           |
|                | 0.1     | 59.0            | 100.0        | 44,300                | 58.5        |
|                | 0.2     | 57.3            | 100.0        | 55,500                | 48.0        |
|                | 0.4     | 43.1            | 99.3         | 44,725                | 58.1        |
|                | 0.8     | 32.6            | 97.9         | 35,048                | 67.2        |
| Camalote       | Testigo | 100             | 100          | 197,060               | 0           |
|                | 0.1     | 73.3            | 100          | 87,620                | 55.5        |
|                | 0.2     | 66.4            | 99.4         | 117,988               | 40.1        |
|                | 0.4     | 66.3            | 99.4         | 118,922               | 39.7        |
|                | 0.8     | 55.5            | 99.2         | 182,845               | 7.2         |

Los valores del porcentaje de ovoposición fueron mayores en todos los grupos testigo ( $P < 0.05$ ), por lo que se consideraron como el 100%. Considerando todas las concentraciones de coumaphos, el porcentaje de ovoposición tuvo un rango de 2.9 % a 100 % en el que los mayores valores se obtuvieron en las concentraciones de coumaphos más bajas y viceversa. En la Figura 11 se pueden observar los promedios del porcentaje de ovoposición para cada concentración de coumaphos en las subpoblaciones incluidas en el estudio.



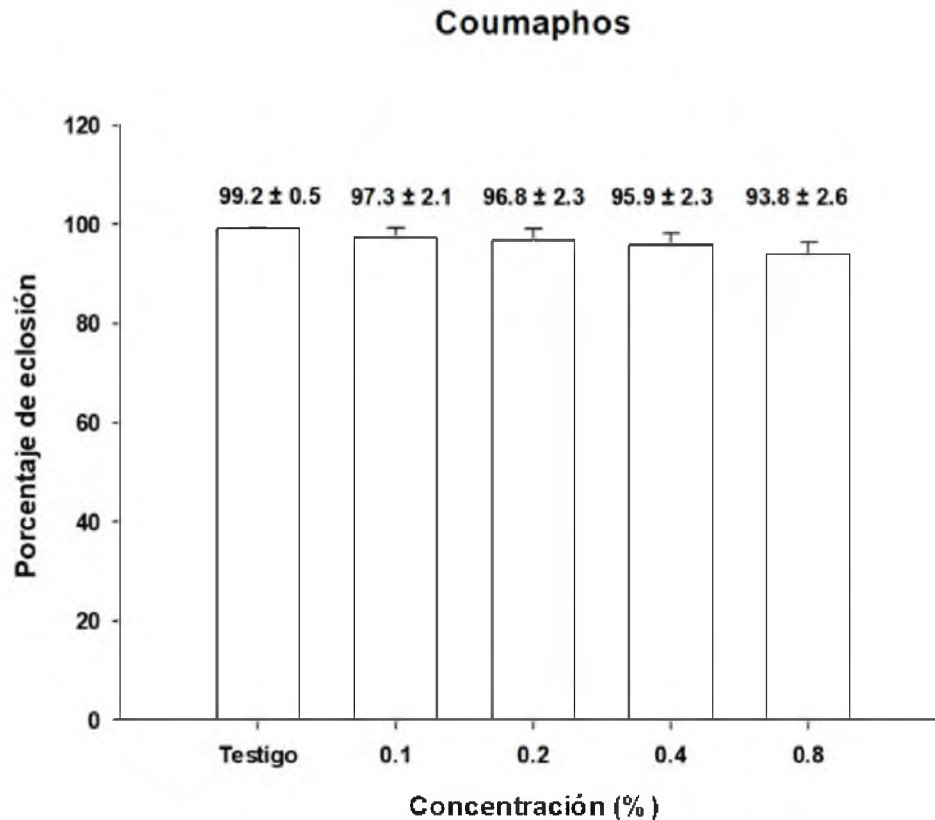
**Figura 11.** Porcentajes de ovoposición promedio observados en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* tratadas con diferentes concentraciones de coumaphos en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca. Diferentes literales significan diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ).

La consulta en internet sobre el efecto de las diferentes concentraciones de coumaphos sobre diferentes parámetros reproductivos, evidenció una falta de trabajos de investigación en el que se hayan contemplado concentraciones

múltiples en la técnica de inmersión de adultas, lo que imposibilita llevar a cabo una discusión. Sin embargo, se puede remarcar que a medida que se incrementaron las concentraciones de coumaphos, disminuyó el porcentaje de ovoposición.

Al considerar la concentración de coumaphos recomendada (0.2 %), se tuvo un porcentaje de ovoposición promedio de 66.2 %, con un rango de 16.3 % a 93.4 %. Los resultados de este estudio difieren de los presentados por otros autores. Así, en un estudio realizado en Catacamas, Honduras, en el que se probaron diferentes ixodicidas en 1,000 garrapatas adultas procedentes de cuatro unidades de producción, se observó que cuando el coumaphos se utilizó en la concentración recomendada, se tuvo un porcentaje de ovoposición de 25 % (Brizo y Lepe-López, 2022). Asimismo, en un estudio realizado por Martínez (2016), en un rancho del municipio de Emiliano Zapata, Tabasco, se utilizó la técnica de inmersión de adultas para medir el efecto de la concentración recomendada de coumaphos sobre algunos parámetros reproductivos de las hembras. En el estudio citado se observó un porcentaje de ovoposición de 87.2 %. Las diferencias de resultados entre este y los estudios citados pueden atribuirse a diferentes factores, como el manejo del control químico en las unidades de producción estudiadas, los factores climáticos y la distancia geográfica entre subpoblaciones de garrapatas. Todos esos factores contribuyen para que la respuesta de cada subpoblación de garrapatas sea diferente.

Considerando todas las concentraciones de los grupos tratados, el porcentaje de eclosión tuvo un promedio de 96.8 %, con un rango de 74.2 % a 100 %. No se observó diferencia estadística en el porcentaje de eclosión provocado por las diferentes concentraciones de coumaphos ( $P < 0.05$ ). En la Figura 12 se pueden observar los promedios del porcentaje de eclosión para cada concentración de coumaphos en las subpoblaciones incluidas en el estudio.



**Figura 12.** Porcentajes de eclosión promedio observados en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* tratadas con diferentes concentraciones de coumaphos en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

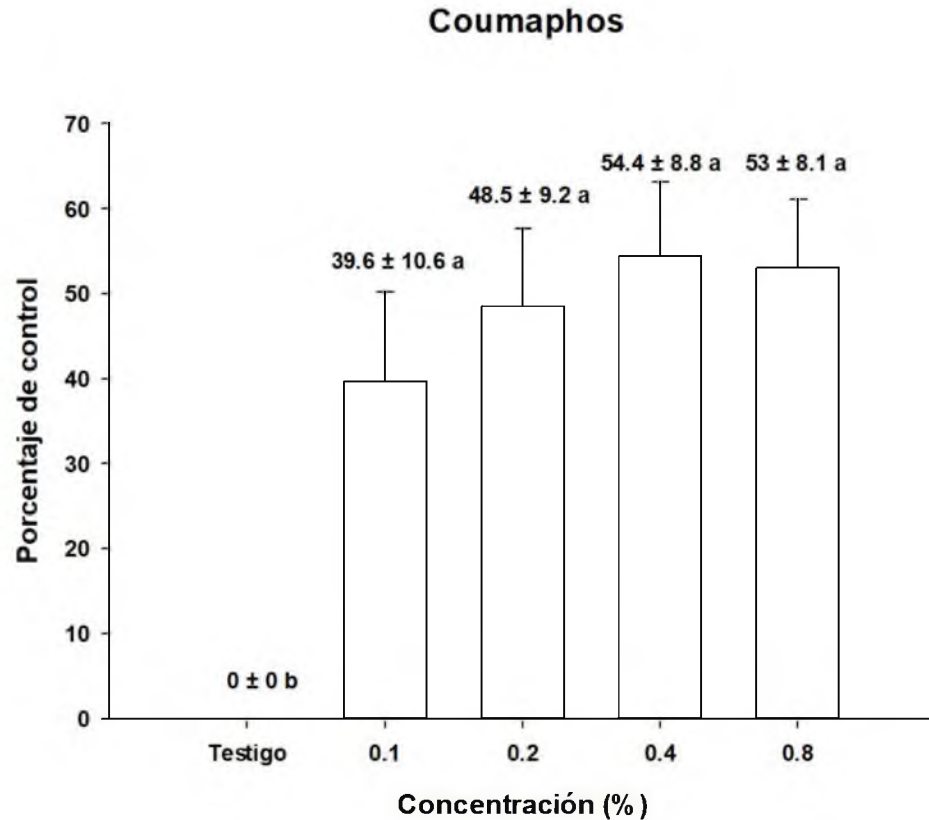
Los porcentajes de eclosión promedio no mostraron diferencia estadística significativa ( $P > 0.05$ ) entre el grupo testigo y las diferentes concentraciones de coumaphos utilizadas. Las diferencias entre todos los grupos fueron muy cerradas, observándose un 99.2 % de porcentaje de eclosión en el grupo testigo y un 93.8 % en el grupo con la concentración más alta. Los resultados de este estudio difieren de lo observado por otros autores, en los que se observó un porcentaje de eclosión del 6 % cuando se utilizó coumaphos (Rodríguez-Pacheco *et al.*, 2017; Barrón Bravo *et al.*, 2023). La diferencia entre los estudios citados y el presente, puede atribuirse a que el coumaphos es el principio activo que los productores han utilizado durante más tiempo en

la Región Cuenca del Papaloapan y al uso indiscriminado que han hecho de este principio activo.

El porcentaje de eclosión observado utilizando el coumaphos a la concentración recomendada (0.2 %) fue de 96.8 %. Este resultado difiere radicalmente de lo observado por Barrón-Bravo et al., 2023), quienes realizaron un estudio en la comunidad de Mariano Matamoros, Altamira, Tamaulipas y notaron que el coumaphos en una concentración del 0.2 %, provocó un porcentaje de eclosión del 4 %. Asimismo, Rodríguez-Pacheco *et al.* (2017), realizaron un estudio utilizando otro organofosforado (metrifonato) en garrapatas procedentes de diferentes ranchos del departamento de Boyacá, Colombia.

Los autores también observaron una mortalidad del 4 %. Los resultados evidencian que, aunque el fenómeno de la resistencia a ixodidas está presente en diferentes regiones del planeta, este se presenta de manera heterogénea, producto del manejo de los principios activos, los cuales son utilizados con distinta eficiencia entre los productores.

Al considerar todas las concentraciones de los grupos tratados, el porcentaje de control tuvo un promedio de 48.5 %, con un rango de 0.05 % a 100 %. Aunque se encontró una diferencia significativa entre los porcentajes de control del grupo testigo con los grupos tratados ( $P < 0.05$ ), no se observaron diferencias entre las diferentes concentraciones utilizadas. Los promedios de los porcentajes de control de los diferentes grupos pueden observarse en la Figura 13.



**Figura 13.** Porcentajes de control promedio observados en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* tratadas con diferentes concentraciones de coumaphos en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca. Diferentes literales significan diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ).

Los resultados del porcentaje de control obtenidos en este trabajo son similares a los registrados por Bravo *et al.* (2008), quienes realizaron un estudio en cuatro unidades de producción del estado de Lara, Venezuela. Los autores utilizaron concentraciones de coumaphos de 0.0125 %, 0.0250 %, 0.050 %, 0.1 % y 0.2 % y encontraron un porcentaje de control promedio de 43.5 %, con un rango de 16.3 % a 75.7 %. Lo anterior indica que, la eficacia del coumaphos es muy variable y está determinada por el manejo de control químico particular que se está llevando a cabo en cada una de las unidades de producción estudiadas.

Si se considera la concentración de coumaphos recomendada por los laboratorios comerciales (0.2 %), el porcentaje de control fue de 48.5 %, valor que se encuentra lejos del 98 % que establece la NOM-006-ZOO-1993 para considerar a un producto comercial como efectivo en el control químico de la garrapata *R. microplus*. Este resultado es ligeramente superior al porcentaje de control registrado por Bravo *et al.* (2008), en cuatro unidades de producción del estado de Lara, Venezuela. El porcentaje de control tan bajo obtenido en la presente investigación confirma una eficacia media del coumaphos sobre los parámetros reproductivos de las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* incluidas en este estudio.

**6.2.2. Cipermetrina.** En el Cuadro 6, se muestra el efecto de la cipermetrina sobre algunas variables reproductivas de la garrapata *R. microplus* en unidades de producción de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

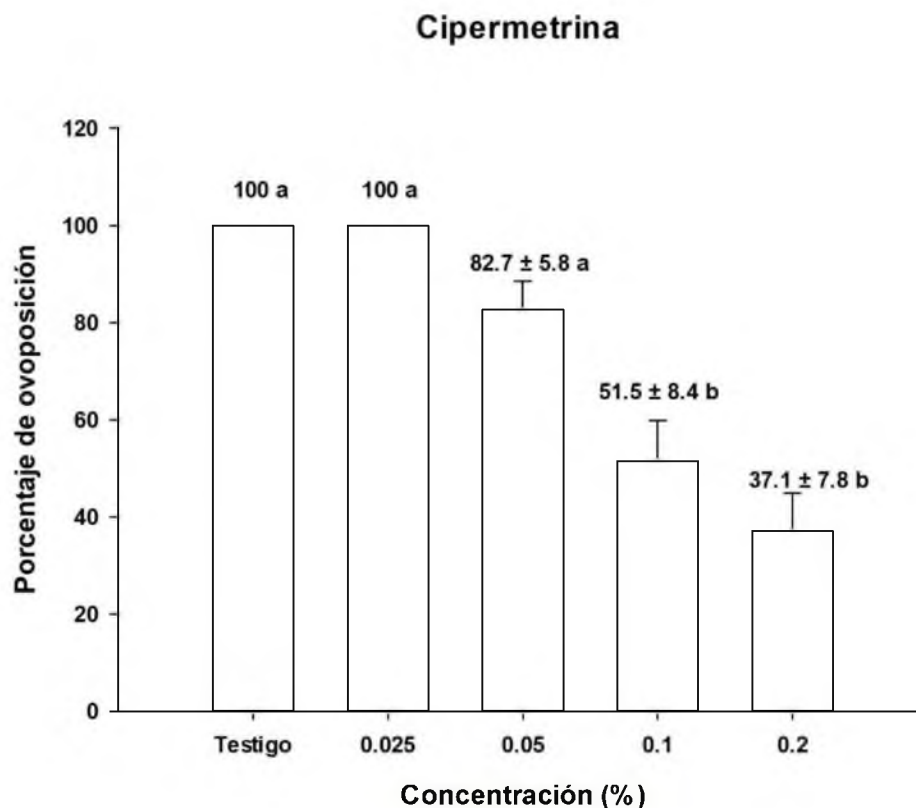
**Cuadro 6a.** Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con cipermetrina a dosis múltiple en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

| Rancho        | Grupo   | Ovoposición (%) | Eclosión (%) | Reproducción estimada | Control (%) |
|---------------|---------|-----------------|--------------|-----------------------|-------------|
| El Manantial  | Testigo | 100             | 100          | 165,800               | 0           |
|               | 0.025   | 100             | 98.9         | 143,445               | 13.5        |
|               | 0.05    | 77.1            | 98.8         | 63,825                | 61.5        |
|               | 0.1     | 75.1            | 96.4         | 114,523               | 30.9        |
|               | 0.2     | 52.6            | 90.4         | 81,378                | 50.9        |
| San Fernando  | Testigo | 100             | 99.3         | 135,127               | 0           |
|               | 0.025   | 100             | 94.7         | 128,034               | 5.2         |
|               | 0.05    | 86.9            | 89.6         | 107,610               | 20.4        |
|               | 0.1     | 78.5            | 88.1         | 42,094                | 68.8        |
|               | 0.2     | 78.0            | 87.0         | 82,598                | 38.9        |
| Arroyo Metate | Testigo | 100             | 99.9         | 245,734               | 0           |
|               | 0.025   | 100             | 99.6         | 108,644               | 55.8        |
|               | 0.05    | 73.3            | 99.6         | 224,498               | 8.6         |
|               | 0.1     | 72.3            | 99.6         | 185,893               | 24.4        |
|               | 0.2     | 35.1            | 98.4         | 122,587               | 50.1        |

**Cuadro 6b (continuación).** Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con cipermetrina a dosis múltiple en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

| Rancho         | Grupo   | Ovoposición (%) | Eclosión (%) | Reproducción estimada | Control (%) |
|----------------|---------|-----------------|--------------|-----------------------|-------------|
| San Benito     | Testigo | 100             | 100          | 248,320               | 0           |
|                | 0.025   | 100             | 99.5         | 101,789               | 59.0        |
|                | 0.05    | 100             | 99.4         | 130,651               | 47.4        |
|                | 0.1     | 45.4            | 97.2         | 55,365                | 77.7        |
|                | 0.2     | 38.3            | 96.4         | 242,870               | 2.2         |
| Desparramadero | Testigo | 100             | 100          | 28,780                | 0           |
|                | 0.025   | 100             | 89.1         | 29,421                | 0           |
|                | 0.05    | 48.7            | 88.8         | 40,812                | 0           |
|                | 0.1     | 0               | 85.4         | 24,185                | 16.0        |
|                | 0.2     | 0               | 0            | 0                     | 100.0       |
| La Virgen      | Testigo | 100             | 99.9         | 287,772               | 0.0         |
|                | 0.025   | 100             | 98.5         | 110,872               | 61.5        |
|                | 0.05    | 52.9            | 97           | 25,336                | 91.2        |
|                | 0.1     | 25.3            | 96.2         | 106,205               | 63.1        |
|                | 0.2     | 14.3            | 92.9         | 25,845                | 91.0        |
| Don David      | Testigo | 100             | 100          | 263,680               | 0           |
|                | 0.025   | 100             | 99.6         | 30,378                | 88.5        |
|                | 0.05    | 100             | 99           | 60,073                | 77.2        |
|                | 0.1     | 43.8            | 98.2         | 91,267                | 65.3        |
|                | 0.2     | 10.2            | 96.5         | 47,382                | 82.0        |
| La Sorpresa    | Testigo | 100             | 100          | 97,740                | 0           |
|                | 0.025   | 100             | 99.6         | 20,677                | 78.8        |
|                | 0.05    | 100             | 97.3         | 26,329                | 73.1        |
|                | 0.1     | 24              | 96.6         | 6,859                 | 93.0        |
|                | 0.2     | 19              | 96.1         | 13,300                | 86.4        |
| Ojitlán        | Testigo | 100             | 100          | 98,780                | 0           |
|                | 0.025   | 100             | 100          | 96,060                | 2.8         |
|                | 0.05    | 99.9            | 99.5         | 56,078                | 43.2        |
|                | 0.1     | 77              | 99.5         | 77,988                | 21.0        |
|                | 0.2     | 66              | 99.4         | 55,922                | 43.4        |
|                | Testigo | 100             | 100          | 183,900               | 0           |
|                | 0.025   | 100             | 99.8         | 148,742               | 19.1        |
|                | 0.05    | 88.7            | 99.6         | 94,222                | 48.8        |
|                | 0.1     | 74.2            | 98.9         | 142,060               | 22.8        |
|                | 0.2     | 58.4            | 91.6         | 107,575               | 41.5        |

Las diferentes concentraciones de cipermetrina utilizadas en el estudio tuvieron un efecto muy variable en las subpoblaciones de garrapata estudiadas. En el grupo testigo se registró un promedio de porcentaje de ovoposición del 100 %. En los grupos tratados, independientemente de las concentraciones utilizadas, el porcentaje de ovoposición promedio fue de 67.8 %. No se observó un efecto de las concentraciones más bajas de cipermetrina (0.025 % y 0.05 %) sobre el porcentaje de ovoposición ( $P > 0.05$ ). En cambio, las concentraciones más altas (0.1 % y 0.2 %) lograron reducir este parámetro ( $P < 0.05$ ). Los promedios del porcentaje de ovoposición se pueden observar en la Figura 14.

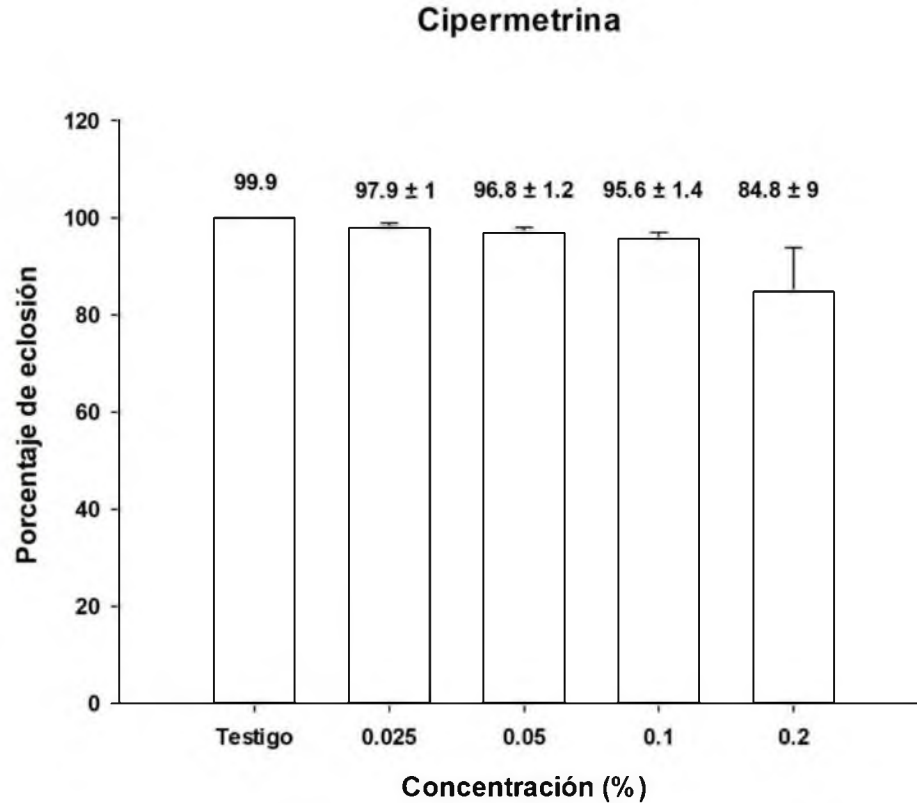


**Figura 14.** Porcentajes de ovoposición promedio observados en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* tratadas con diferentes concentraciones de cipermetrina en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca. Diferentes literales significan diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ).

Si se considera la concentración de cipermetrina recomendada por los fabricantes (0.05 %), el promedio del porcentaje de ovoposición fue 82.7 %, con un rango de 48.7 % a 100 %. Este resultado fue similar a lo observado por Membreño y Ortiz (2015), quienes realizaron un estudio en un hato bovino ubicado en Managua, Nicaragua. Los autores tomaron muestras de garrapata *R. microplus* y evaluaron su resistencia a la concentración recomendada de cipermetrina mediante la técnica de inmersión de adultas. En ese estudio, se observó que el porcentaje de ovoposición en el grupo tratado fue de 84 %. En el presente estudio, no se encontró diferencia ( $P>0.05$ ) entre los porcentajes de ovoposición del grupo testigo y del grupo tratado con la concentración recomendada (0.05 %). Lo anterior, indica que cuando la cipermetrina se utiliza de acuerdo con las concentraciones recomendadas por los laboratorios, no tiene un efecto significativo en el porcentaje de ovoposición.

El porcentaje de eclosión no mostró diferencias entre los diferentes grupos ( $P>0.05$ ). En el grupo testigo el porcentaje de eclosión tuvo un promedio de 99.9 %, mientras que, en los grupos tratados, independientemente de la concentración empleada, el promedio fue de 93.8 %, con un rango de 85.4 % a 99.6 %. Lo anterior indica que, las concentraciones utilizadas en este estudio no tuvieron un efecto significativo en la eclosión de huevos de las subpoblaciones de las garrapatas *R. microplus*. El hecho de que los porcentajes de eclosión no muestren una gran variabilidad entre las poblaciones, permite sugerir que este es un fenómeno que se presentó de manera independiente a las subpoblaciones estudiadas. En la Figura 15 se muestra los promedios del porcentaje de eclosión en las diferentes concentraciones de cipermetrina utilizadas.

Los porcentajes de eclosión observados cuando la cipermetrina se utilizó a la concentración recomendada por los laboratorios (0.05 %), tuvieron un promedio de 96.9 %, con un rango entre 85.4 % y 99.6 %.



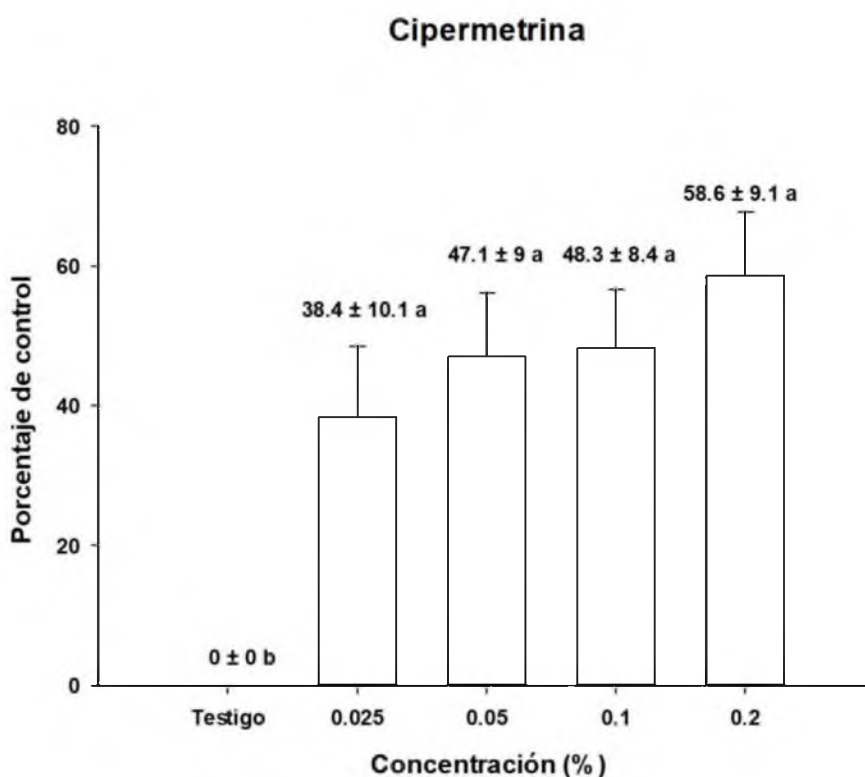
**Figura 15.** Porcentajes de eclosión promedio observados en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* tratadas con diferentes concentraciones de cipermetrina en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

El porcentaje de eclosión a la concentración recomendada de cipermetrina fue diferente a lo observado en hatos bovinos de Colombia por Rodríguez-Pacheco *et al.* (2017), quienes, en un estudio similar en Colombia con garrapatas provenientes de diferentes ranchos de Boyacá, Colombia, registraron un porcentaje de eclosión de 14 %. Las diferencias de resultados entre el estudio citado y la presente investigación pueden deberse a las arbitrariedades en la dosificación de producto comercial que tienen los productores cuando llevan a cabo sus programas de control químico de la garrapata, al tiempo previo que usaron el ixodicida y al nivel de resistencia que ha adquirido la garrapata.

El porcentaje de control es una medida de la eficacia de los ixodicidas sobre los parámetros reproductivos de la garrapata *R. microplus*. Para su cálculo, se requiere estimar la reproducción estimada (RE) considerando el considerando

el peso de los huevos, el porcentaje de ovoposición y el porcentaje de eclosión. La RE es indispensable para calcular el porcentaje de control, el cual mide qué tanto reducen los ixodicidas la capacidad reproductiva de las garrapatas.

El porcentaje de control del grupo testigo tuvo un promedio de 0 % y fue menor ( $P < 0.05$ ) al de los grupos tratados, en los que se observó un promedio global de 48.1 %, con un rango de 0 % a 93 %. Asimismo, no se observó una diferencia estadística significativa ( $P > 0.05$ ) cuando se compararon los porcentajes de control obtenidos con las diferentes concentraciones de cipermetrina. La Figura 16 muestra los promedios obtenidos del porcentaje de control obtenido en las diferentes concentraciones de cipermetrina.



**Figura 16.** Porcentajes de control promedio observados en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* tratadas con diferentes concentraciones de cipermetrina en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca. Diferentes literales significan diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ).

El porcentaje de control promedio cuando se utilizó la concentración recomendada de cipermetrina (0.05 %) fue de 47.1 %, con un rango de 0 % a 91.2 %. Este resultado fue diferente a lo descrito por Brizo y Lepe (2022), quienes utilizaron la concentración recomendada de cipermetrina para llevar a cabo un estudio con una metodología similar al presente y obtuvieron un porcentaje de control de 68 %. El menor porcentaje de control obtenido en la presente investigación pudo estar relacionado con diferentes factores como el manejo del fármaco, ya que en las unidades de producción el fármaco se ha empleado de manera constante por largos periodos y, en muchas ocasiones, no se respetan las recomendaciones de manejo del fabricante. Además, los piretroides son el grupo químico que más resistencia han generado en las últimas tres décadas (Cuore *et al.*, 2017).

Como conclusión, las diferentes concentraciones de cipermetrina tienen un efecto dosis dependiente sobre el porcentaje de ovoposición. Sin embargo, este efecto no fue observado en el porcentaje de eclosión y porcentaje de control, lo que indica que este principio activo tiene un bajo efecto sobre los parámetros reproductivos de la garrapata *R. microplus*.

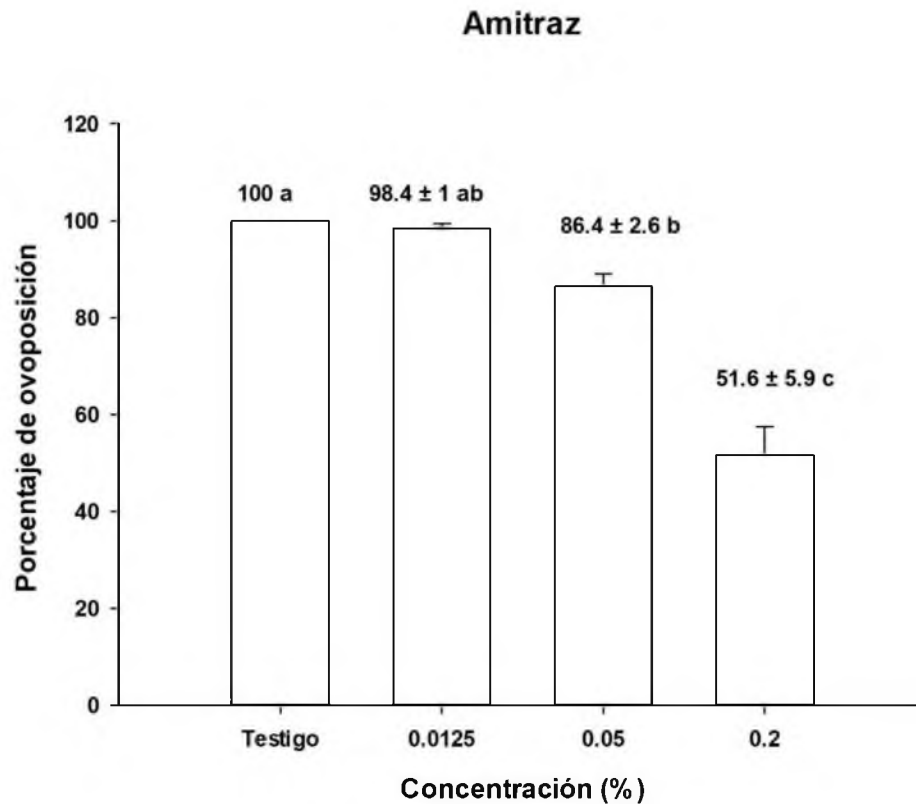
**6.2.3. Amitraz.** Después de los niveles de resistencia tan altos observados con los organofosforados, el amitraz surgió como una alternativa para el control químico de la garrapata. En el Cuadro 7, se muestra el efecto del amitraz sobre algunas variables reproductivas de la garrapata *R. microplus* en unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

El porcentaje de ovoposición fue mayor en los grupos testigo, por lo que se consideró del 100 %. En los grupos tratados, el porcentaje de ovoposición global tuvo un promedio de 78.8 %, con un rango de 20 % al 100 %. Los porcentajes de ovoposición del grupo testigo fueron similares ( $P > 0.05$ ) a los de la concentración más baja (0.0125 %) y diferentes ( $P < 0.05$ ) a los de las concentraciones más altas (0.05 % y 0.2 %)

**Cuadro 7.** Porcentaje de ovoposición, porcentaje de eclosión, reproducción estimada (RE) y porcentaje de control obtenidos en la prueba de inmersión de adultas con amitraz a dosis múltiple en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

| Rancho         | Grupo   | Ovoposición (%) | Eclosión (%) | Reproducción estimada | Control (%) |
|----------------|---------|-----------------|--------------|-----------------------|-------------|
| El Manantial   | Testigo | 100             | 95.2         | 158,622               | 0           |
|                | 0.0125  | 100             | 87.2         | 90,357                | 43          |
|                | 0.05    | 76.1            | 85.1         | 131,377               | 17.2        |
|                | 0.2     | 44.6            | 35.7         | 23,483                | 85.2        |
| San Fernando   | Testigo | 100             | 92.4         | 101,695               | 0           |
|                | 0.0125  | 89.8            | 89.5         | 101,726               | 0           |
|                | 0.05    | 76.0            | 81.1         | 75,553                | 25.7        |
|                | 0.2     | 73.2            | 62           | 41,428                | 59          |
| Arroyo Metate  | Testigo | 100             | 99.6         | 274,418               | 0           |
|                | 0.0125  | 100             | 99.3         | 113,043               | 58.8        |
|                | 0.05    | 100             | 98.9         | 165,915               | 39.5        |
|                | 0.2     | 47.2            | 98.0         | 149,019               | 45.7        |
| San Benito     | Testigo | 100             | 100          | 196,500               | 0           |
|                | 0.0125  | 100             | 99.7         | 209,709               | 0           |
|                | 0.05    | 83.8            | 99.4         | 239,037               | 0           |
|                | 0.2     | 57.0            | 97.9         | 108,219               | 44.9        |
| Desparramadero | Testigo | 100             | 100          | 29,300                | 0           |
|                | 0.0125  | 100             | 98.5         | 5,615                 | 80.8        |
|                | 0.05    | 86.9            | 98.3         | 29,903                | 0           |
|                | 0.2     | 20.0            | 93.4         | 97,323                | 0           |
| La Virgen      | Testigo | 100             | 99.2         | 302,381               | 0           |
|                | 0.0125  | 100             | 98.2         | 119,667               | 60.4        |
|                | 0.05    | 100             | 98.1         | 142,029               | 53          |
|                | 0.2     | 33.2            | 97.5         | 143,988               | 52.4        |
| Don David      | Testigo | 100             | 99.8         | 198,981               | 0           |
|                | 0.0125  | 100             | 99.8         | 215,189               | 0           |
|                | 0.05    | 89.4            | 99.3         | 92,786                | 53.4        |
|                | 0.2     | 39.1            | 99.2         | 94,796                | 52.4        |
| La Sorpresa    | Testigo | 100             | 97.4         | 102,017               | 0           |
|                | 0.0125  | 100             | 96.1         | 122,201               | 0           |
|                | 0.05    | 85.2            | 95.9         | 69,700                | 31.7        |
|                | 0.2     | 82.5            | 95.5         | 75,541                | 26          |
| Ojitlán        | Testigo | 100             | 100          | 135,340               | 0           |
|                | 0.0125  | 100             | 99.8         | 97,405                | 28          |
|                | 0.05    | 87.2            | 99.3         | 64,426                | 52.4        |
|                | 0.2     | 66.0            | 99.1         | 94,105                | 30.5        |
| Camalote       | Testigo | 100             | 100          | 144,660               | 0           |
|                | 0.0125  | 95              | 100          | 148,760               | 0           |
|                | 0.05    | 79.9            | 97.4         | 117,270               | 18.9        |
|                | 0.2     | 53.2            | 96.0         | 59,117                | 59.1        |

Los porcentajes de ovoposición promedio observados fueron de 98.4 %, 86.4 % y 51.6 % para las concentraciones de amitraz de 0.0125 %, 0.05 % y 0.02 %, respectivamente (Figura 17).

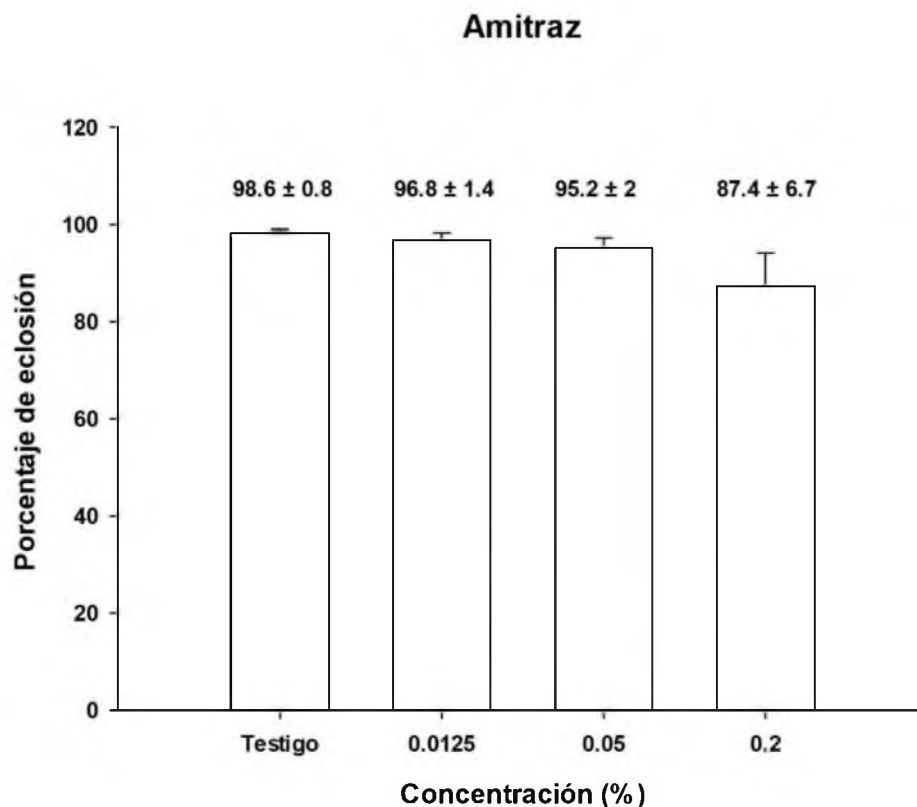


**Figura 17.** Porcentajes de ovoposición promedio observados en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* tratadas con diferentes concentraciones de amitraz en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca. Diferentes literales significan diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ).

El resultado del presente estudio muestra una gran diferencia con lo reportado en un estudio realizado en Gujarat, India, en diferentes ranchos de ganado bovino y búfalos. En ese trabajo, se probaron concentraciones de amitraz de 0.015 %, 0.025 %, 0.05 %, 0.075 % y 0.1 %, observando porcentajes de ovoposición de 31.7 %, 27.9 %, 25.9 %, 46.1 % y 52.7 %, respectivamente (Singh *et al.*, 2015). En general, en el presente trabajo se observa un menor efecto de las concentraciones de amitraz sobre el porcentaje de ovoposición,

lo cual puede ser consecuencia de las diferencias de resistencia entre subpoblaciones de garrapatas y por malas prácticas de manejo del amitraz, dentro de las unidades de producción, entre las que se deben considerar su uso prolongado y su dosificación arbitraria.

El porcentaje de eclosión global de los grupos testigo fue de 98.4 %, mientras que en los grupos tratados con amitraz, el promedio global fue de 93.2 %, con un rango de 35.7 % a 100 %. En la Figura 18 se muestran los promedios del porcentaje de inclusión registrados con diferentes concentraciones de amitraz.



**Figura 18.** Porcentajes de eclosión promedio observados en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* tratadas con diferentes concentraciones de amitraz en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

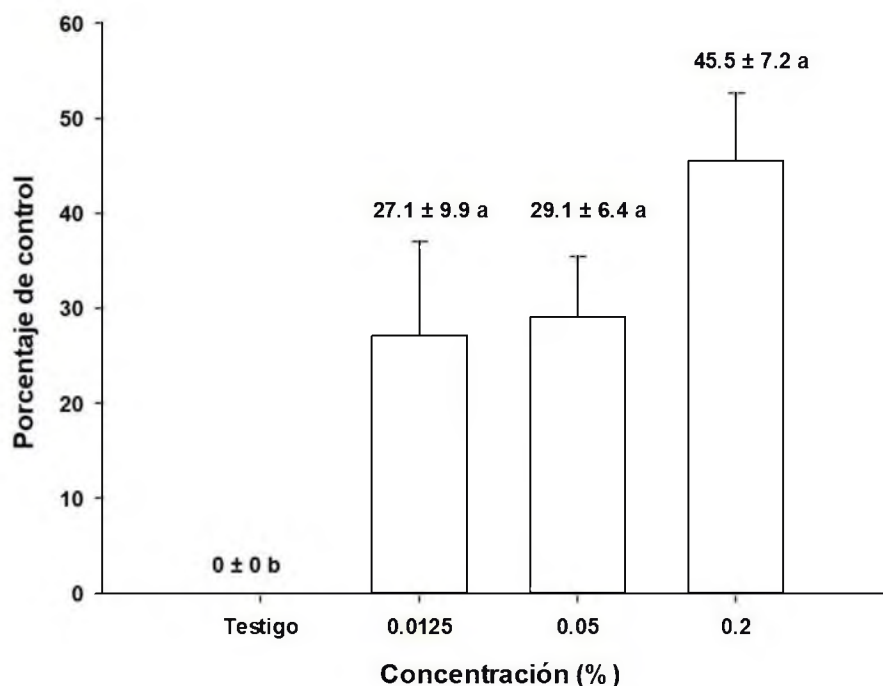
Aunque se observa una correlación negativa entre la concentración utilizada de amitraz y el porcentaje de eclosión, no se encontraron diferencias

estadísticas entre grupos ( $P>0.05$ ). Aunque no se probó la concentración recomendada (0.025 %), esta se encuentra dentro del intervalo de las concentraciones probadas en este estudio, lo que permite concluir que las diferentes concentraciones de amitraz no afectaron este parámetro reproductivo en las diferentes subpoblaciones de garrapata *R. microplus* incluidas en el estudio.

Los resultados del efecto de la concentración recomendada de amitraz sobre el porcentaje de eclosión observados en este estudio difieren de lo observado por Araque *et al.* (2014), quienes en un estudio similar realizado en Colombia con garrapatas recolectadas de 71 unidades de producción expuestas a una concentración de amitraz de 0.0208 %, registraron un porcentaje de eclosión del 23.9 %. Las diferencias de resultados entre estudios pueden deberse a las condiciones en las que se lleva a cabo el control químico en cada región, en las cuales pueden presentarse varias fallas en el mismo, generando la aparición de cepas de garrapata resistentes.

Los porcentajes de control en los grupos testigo se consideraron del 0 %, al no tener un efecto del principio activo sobre la actividad reproductiva de las garrapatas. En las diferentes concentraciones de amitraz, se tuvo un porcentaje de control global de 33.9 %, con un rango de 0 % a 85 %. El porcentaje de control observado en cada una de las concentraciones probadas en el estudio fue menor al 50 %, valor que se queda muy por debajo del 98 % especificado por la NOM-006-ZOO-1993 para considerar a un ixodicida como efectivo en el control químico de la garrapata *R. microplus*. Aunque no se observaron diferencias estadísticas significativas para el porcentaje de control entre las diferentes concentraciones probadas ( $P>0.05$ ), si se encontró una diferencia entre el porcentaje de control del grupo testigo y el observado en cada una de las concentraciones utilizadas ( $P<0.05$ ). En la Figura 19 se muestra el porcentaje control promedio obtenido en las diferentes concentraciones de amidina.

## Amitraz



**Figura 19.** Porcentajes de control promedio observados en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* tratadas con diferentes concentraciones de amitraz en unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca. Diferentes literales significan diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ).

No se probó el porcentaje de control con la dosis recomendada (0.025 %), pero los porcentajes obtenidos en las concentraciones más cercanas (0.0125 % y 0.05 %) fueron de 27.1 % y 29.1 %, respectivamente. Este resultado difiere de los observado por Araque *et al.* (2014), quienes en un estudio realizado en Colombia con garrapatas provenientes de varios ranchos de bovinos y búfalos y utilizando una concentración de 0.0208 %, registraron un valor del porcentaje de control de 70 %. La diferencia en los resultados del estudio citado y la presente investigación pueden atribuirse en diferencias en el nivel de resistencia de las subpoblaciones de garrapata estudiadas, lo que malas prácticas en el control químico de la garrapata y el uso del principio activo.

### **6.3. Determinación de la resistencia de la garrapata *R. microplus* a grupos de ixodicidas mediante la técnica del paquete larvario**

La técnica del paquete larvario es el bioensayo más utilizado para medir la resistencia de la garrapata *R. microplus* a la mayor parte de los ixodicidas y es la técnica de referencia para la FAO (2004). Esta técnica permite estandarizar la edad y la etapa fisiológica de los individuos que se usan los bioensayos, lo que reduce la variabilidad de resultados. Además, las larvas son más fáciles de manejar, la etapa es muy corta, lo que representa una ventaja en la duración de los bioensayos. Adicionalmente, las larvas son más sensibles a las garrapatas adultas, lo que permite detectar de manera más precisa niveles bajos de resistencia (FAO, 2004; Ribeiro *et al.*, 2020). Todas estas ventajas permiten que la prueba del paquete larvario permita detectar un problema de resistencia a ixodicidas de manera más temprana que otras técnicas, lo que ayudaría implementar medidas de control antes que el problema se establezca de manera generalizada en la subpoblación.

**6.3.1. Coumaphos.** El coumaphos es uno de los principios activos más utilizados debido a su eficiencia en el control químico de la garrapata *R. microplus*. En el Cuadro 8, se muestra la mortalidad corregida obtenida en la prueba del paquete larvario con diferentes concentraciones de coumaphos en diferentes subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

La mortalidad larvaria promedio de los grupos testigo fue de 2.55 %, con un rango entre 0 % y 9.1 %. Al respecto, la FAO (2004) señala que cuando la mortalidad larvaria se ubica entre el 5 % y el 10 %, es recomendable aplicar la fórmula de corrección para la mortalidad. La mortalidad corregida evita sobreestimar la mortalidad larvaria, ya que toma en cuenta la mortalidad natural que ocurre en las poblaciones de garrapatas no tratadas. De esta manera, la mortalidad larvaria observada se puede atribuir exclusivamente al efecto del ixodicida.

**Cuadro 8a.** Mortalidad larvaria corregida obtenida en la prueba del paquete larvario con diferentes concentraciones de coumaphos en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

| <b>Rancho</b>  | <b>Concentraciones (%)</b> | <b>Mortalidad corregida (%)</b> |
|----------------|----------------------------|---------------------------------|
| El Manantial   | Testigo                    | 0                               |
|                | 0.1                        | 100                             |
|                | 0.2                        | 100                             |
|                | 0.4                        | 100                             |
|                | 0.8                        | 100                             |
| San Fernando   | Testigo                    | 0                               |
|                | 0.1                        | 96.9                            |
|                | 0.2                        | 100                             |
|                | 0.4                        | 100                             |
|                | 0.8                        | 100                             |
| Arroyo Metate  | Testigo                    | 0                               |
|                | 0.1                        | 43                              |
|                | 0.2                        | 81.6                            |
|                | 0.4                        | 89.4                            |
|                | 0.8                        | 95.2                            |
| San Benito     | Testigo                    | 0                               |
|                | 0.1                        | 100                             |
|                | 0.2                        | 100                             |
|                | 0.4                        | 100                             |
|                | 0.8                        | 100                             |
| Desparramadero | Testigo                    | 0                               |
|                | 0.1                        | 100                             |
|                | 0.2                        | 100                             |
|                | 0.4                        | 100                             |
|                | 0.8                        | 100                             |
| La Virgen      | Testigo                    | 0                               |
|                | 0.1                        | 100                             |
|                | 0.2                        | 100                             |
|                | 0.4                        | 100                             |
|                | 0.8                        | 100                             |
| Don David      | Testigo                    | 0                               |
|                | 0.1                        | 84.5                            |
|                | 0.2                        | 100                             |
|                | 0.4                        | 100                             |
|                | 0.8                        | 100                             |

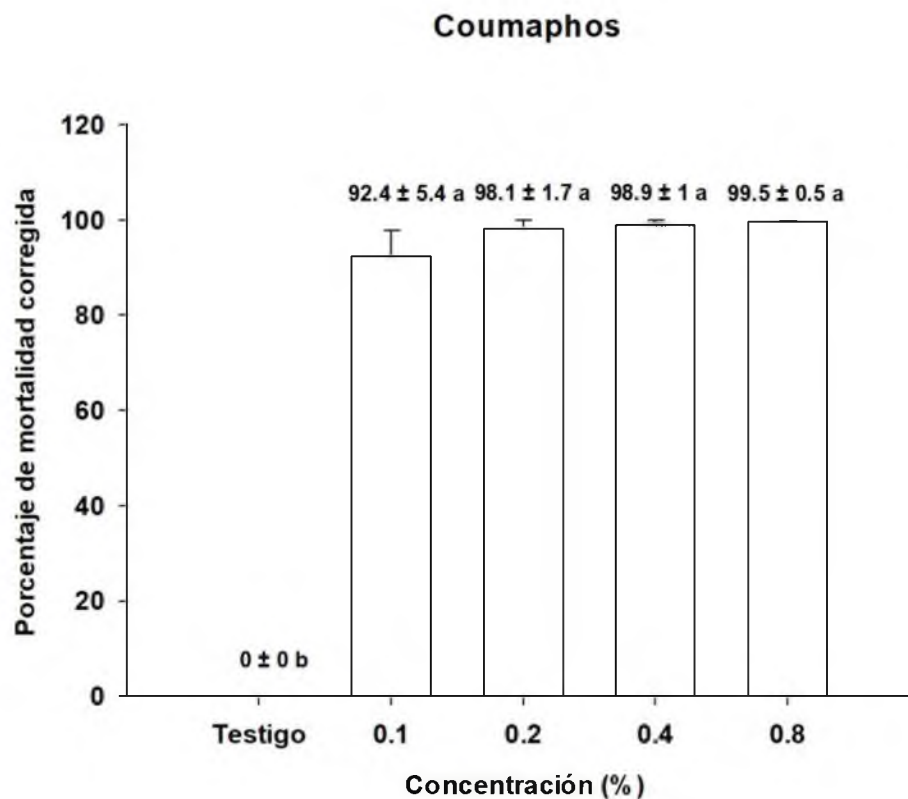
**Cuadro 8b (continuación).** Mortalidad larvaria corregida obtenida en la prueba del paquete larvario con diferentes concentraciones de coumaphos en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción bovina de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

| Rancho      | Concentraciones (%) | Mortalidad corregida (%) |
|-------------|---------------------|--------------------------|
| La Sorpresa | Testigo             | 0                        |
|             | 0.1                 | 100                      |
|             | 0.2                 | 100                      |
|             | 0.4                 | 100                      |
|             | 0.8                 | 100                      |
| Ojtlán      | Testigo             | 0                        |
|             | 0.1                 | 100                      |
|             | 0.2                 | 100                      |
|             | 0.4                 | 100                      |
|             | 0.8                 | 100                      |
| Camalote    | Testigo             | 0                        |
|             | 0.1                 | 100                      |
|             | 0.2                 | 100                      |
|             | 0.4                 | 100                      |

El promedio de la mortalidad larvaria corregida fue menor en los grupos testigo que en los tratados ( $P < 0.05$ ). En los grupos testigo fue del 0 %, mientras que en los grupos tratados se tuvo una mortalidad global del 97.3 %. De las 10 unidades de producción incluidas en el estudio, el coumaphos logró ser eficaz en nueve de ellas, únicamente en el rancho Arroyo Metate, el porcentaje de eficacia promedio en los grupos tratados fue de 77.4 %. En los nueve ranchos restantes el coumaphos tuvo una eficacia global en los grupos tratados de 99.5 %, valor que sobrepasa el límite del 98 % especificado por la NOM-006-ZOO-1993, para considerar como eficaz un ixodicida. Estos resultados son similares a lo reportado por Davey *et al.* (2003), quienes realizaron un estudio en Texas, para probar el efecto del coumaphos en diferentes etapas fisiológicas de la garrapata *R. microplus*. Los autores expusieron larvas a tres diferentes concentraciones de coumaphos (0.165 %, 0.299 % y 0.566 %) y obtuvieron en todos los casos valores de mortalidad larvaria superiores al

98 %. A pesar de las diferencias de ubicación geográfica y de las particularidades del control químico, los resultados de ambos estudios indican una alta eficacia del coumaphos.

En la Figura 20 se muestran los promedios de la mortalidad larvaria corregida para cada una de las concentraciones de coumaphos utilizadas en este estudio.



**Figura 20.** Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de coumaphos en subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ).

Cuando el coumaphos se utilizó a la concentración recomendada por los laboratorios (0.2 %), se obtuvo una mortalidad promedio de 98.1 %, lo cual indica que este principio activo es eficaz en las poblaciones estudiadas. Este resultado concuerda con lo reportado por Valdez-Espinoza *et al.* (2021), quienes probaron el coumaphos a la concentración recomendada en 13

ranchos del municipio de Xochicoatlán, Hidalgo, México y observaron que provocó una mortalidad larvaria promedio de 99.78 % en todas las unidades de producción. En el mismo sentido, el resultado del presente estudio con lo reportado en Texas por Davey *et al.* (2003), quienes realizaron la técnica del paquete larvario utilizando coumaphos a concentraciones de 0.165 %, 0.299 % y 0.566 %; en todos los casos observaron una mortalidad larvaria superior al 98 %. En un estudio realizado en el estado de Lara, Venezuela, también se logró una eficacia del 100 % en la mortalidad larvaria cuando se utilizó el coumaphos a una concentración de 0.5 %. Los resultados del presente estudio y los de las investigaciones citadas confirman que el coumaphos es altamente eficaz en el control de la garrapata al inducir una mortalidad larvaria superior al 98 %.

**6.3.2. Cipermetrina.** La cipermetrina es un ixodicida ampliamente utilizado en la ganadería tropical. Sin embargo, el uso excesivo de este compuesto propició que su eficacia contra las garrapatas haya disminuido en las últimas décadas (De la Cruz *et al.*, 2023). En el Cuadro 9, se muestra el efecto de varias concentraciones de cipermetrina en la mortalidad larvaria en subpoblaciones de garrapata *R. microplus* provenientes de unidades de producción de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

Debido a que la mortalidad larvaria registrada en los grupos testigos tuvo un rango de 5 % a 10 %, se calculó la mortalidad corregida, para cumplir con los lineamientos establecidos por la FAO (2004).

La mortalidad larvaria corregida fue de 0 % en los grupos testigos, mientras que en los grupos tratados tuvo un promedio global de 19.52 %, con un rango de 0 % a 82.9 %. No se encontró diferencia estadística ( $P < 0.05$ ) entre grupos, incluyendo los grupos testigo. Estos resultados indican que en ninguna de las concentraciones se alcanzó el límite de 98 % establecido por la NOM-006-ZOO-1993 para considerar a un ixodicida como eficaz.

**Cuadro 9a.** Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

| Rancho         | Concentraciones (%) | Mortalidad corregida (%) |
|----------------|---------------------|--------------------------|
| El Manantial   | Testigo             | 0                        |
|                | 0.025               | 1.0                      |
|                | 0.05                | 1.5                      |
|                | 0.1                 | 2.9                      |
|                | 0.2                 | 6.1                      |
| San Fernando   | Testigo             | 0                        |
|                | 0.025               | 0                        |
|                | 0.05                | 0                        |
|                | 0.1                 | 0                        |
|                | 0.2                 | 0                        |
| Arroyo Metate  | Testigo             | 0                        |
|                | 0.025               | 0                        |
|                | 0.05                | 0                        |
|                | 0.1                 | 0                        |
|                | 0.2                 | 1.0                      |
| San Benito     | Testigo             | 0                        |
|                | 0.025               | 0                        |
|                | 0.05                | 0                        |
|                | 0.1                 | 6.7                      |
|                | 0.2                 | 11.1                     |
| Desparramadero | Testigo             | 0                        |
|                | 0.025               | 17.5                     |
|                | 0.05                | 20.0                     |
|                | 0.1                 | 21.2                     |
|                | 0.2                 | 33.3                     |
| La Virgen      | Testigo             | 0                        |
|                | 0.025               | 8.1                      |
|                | 0.05                | 11.0                     |
|                | 0.1                 | 14.8                     |
|                | 0.2                 | 17.3                     |
| Don David      | Testigo             | 0                        |
|                | 0.025               | 0                        |
|                | 0.05                | 0                        |
|                | 0.1                 | 0.3                      |
|                | 0.2                 | 0.7                      |

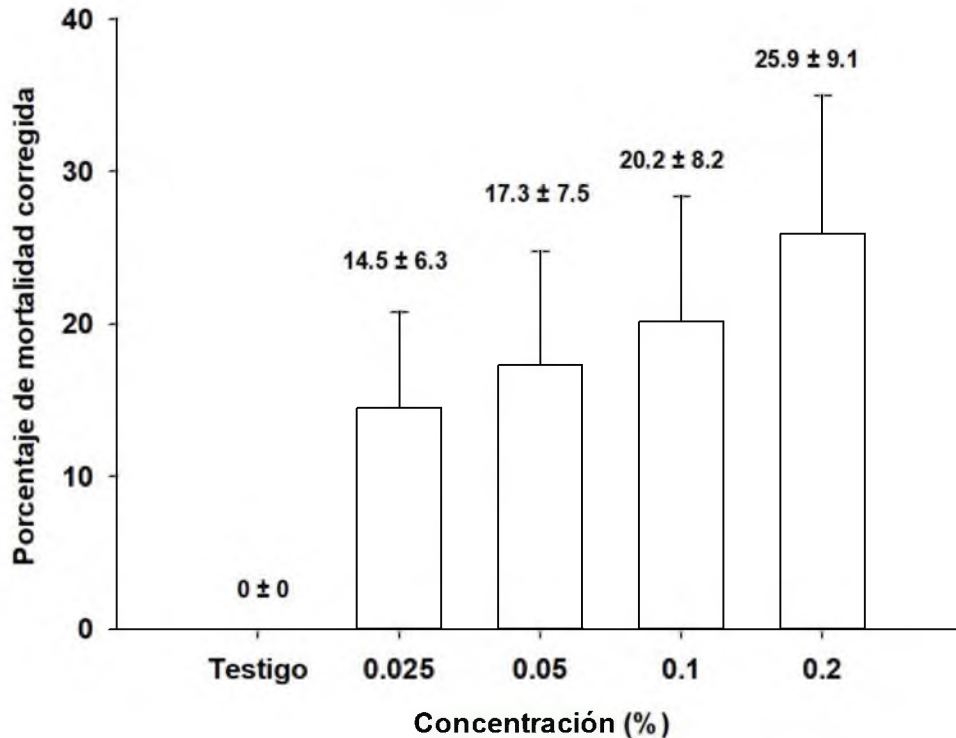
**Cuadro 9b (continuación).** Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

| Rancho      | Concentraciones (%) | Mortalidad corregida (%) |
|-------------|---------------------|--------------------------|
| La Sorpresa | Testigo             | 0                        |
|             | 0.025               | 45.5                     |
|             | 0.05                | 50.0                     |
|             | 0.1                 | 55.0                     |
|             | 0.2                 | 62.5                     |
| Ojitlán     | Testigo             | 0                        |
|             | 0.025               | 53.4                     |
|             | 0.05                | 67.8                     |
|             | 0.1                 | 76.9                     |
|             | 0.2                 | 82.9                     |
| Camalote    | Testigo             | 0                        |
|             | 0.025               | 20.0                     |
|             | 0.05                | 22.7                     |
|             | 0.1                 | 25.0                     |
|             | 0.2                 | 44.8                     |

Los resultados de mortalidad corregida registrados en el Cuadro 9, muestran una baja eficacia de la cipermetrina en el control de la garrapata *R. microplus* y una gran variabilidad de este parámetro entre las diferentes unidades de producción, lo que es un indicativo de los diferentes grados de resistencia existentes en las unidades de producción incluidas en el estudio. Los promedios de mortalidad larvaria provocada por cada una de las concentraciones se pueden observar en la Figura 21.

Los valores promedio de la mortalidad corregida fueron bajos en todas las concentraciones, obteniendo un rango de letalidad de 14.5 % a 25.9 % de letalidad. Este resultado denota una eficacia baja de este principio activo en el control químico de la garrapata *R. microplus*, considerando que, en México, para que un garrapaticida comercial sea considerado como efectivo en el control de la garrapata, la eficacia debe ser superior a 98 % (NOM-006-ZOO-1993).

## Cipermetrina



**Figura 21.** Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de cipermetrina en subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

La dosis recomendada (0.2 %) mostro una mortalidad larvaria promedio de 25.9 %, con un rango de 0 % a 82.9 %. Este resultado fue diferente a lo registrado por Kumar y Manzer (2022), quienes realizaron un estudio que contempló tres villas del distrito de Rajasthan, en la India y notaron que la cipermetrina al 0.2 % causó una mortalidad promedio de 86.6 %. De igual manera, Rodríguez-Hidalgo *et al.* (2017) en Ecuador, realizaron muestreos de garrapata en 12 unidades de producción lechera y observaron una mortalidad del 50 %. En un estudio realizado en unidades de producción del municipio de Xochicoatlán, Hidalgo, se observó que la cipermetrina utilizada en dosis recomendada provocó una mortalidad larvaria de 35.8 % (Valdez-Espinoza *et al.*, 2021). Los valores de mortalidad larvaria en los estudios citados son superiores a los registrados en la presente investigación. La diferencia de resultados entre estudios se puede atribuir a las diferencias en los protocolos

de control químico de las garrapatas y el distanciamiento geográfico de las subpoblaciones. Además, el análisis de eficacia de la cipermetrina en la concentración recomendada (0.20 %) sobre la mortalidad larvaria mostró que, en todas las unidades de producción, las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* son resistentes a dicho fármaco, probablemente debido a malas prácticas de manejo y programas de control químico ineficientes, generando la aparición de nuevas cepas resistentes.

**6.3.3. Amitraz.** La resistencia de la garrapata *R. microplus* al amitraz se ha incrementado en los últimos años debido a que es el principio activo más utilizado. Hoy, los niveles de resistencia de la garrapata a este químico representan un problema para la ganadería del sureste del país (Tipacamú *et al.*, 2009). En el Cuadro 10 se presentan los porcentajes de mortalidad larvaria provocados por varias concentraciones de amitraz en subpoblaciones procedentes de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

**Cuadro 10a.** Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de amitraz en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

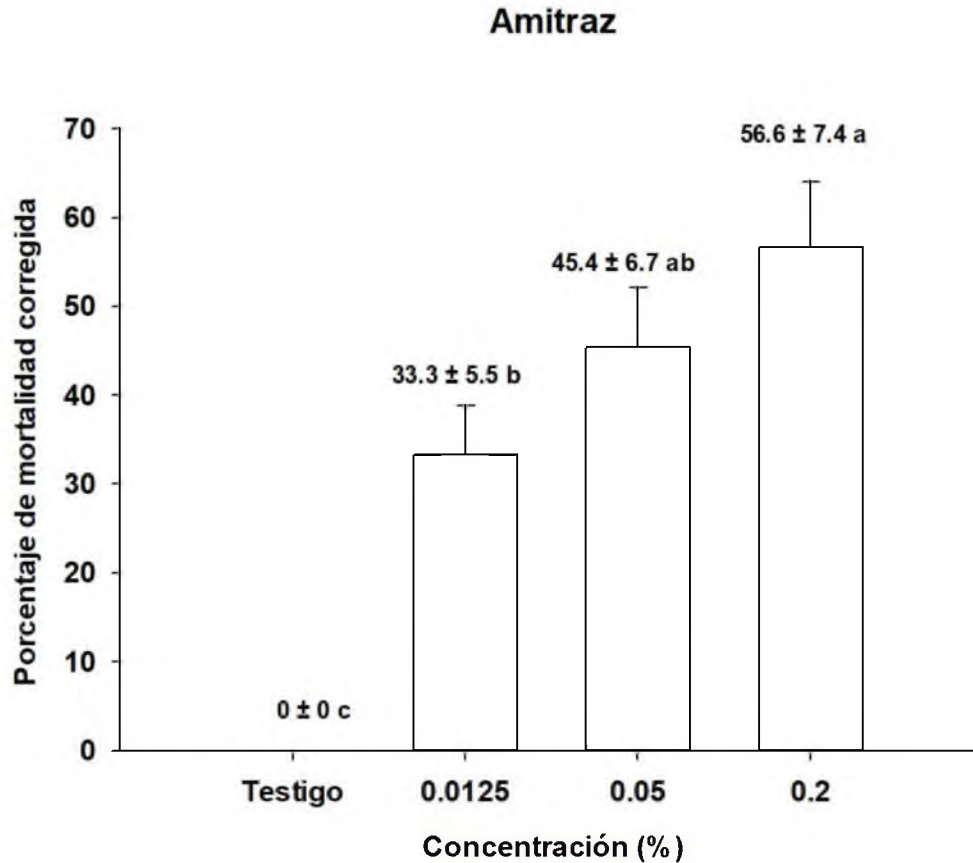
| Rancho        | Concentraciones (%) | Mortalidad corregida (%) |
|---------------|---------------------|--------------------------|
| El Manantial  | Testigo             | 0                        |
|               | 0.0125              | 17.7                     |
|               | 0.05                | 19.4                     |
|               | 0.2                 | 26.7                     |
| San Fernando  | Testigo             | 0                        |
|               | 0.0125              | 38.2                     |
|               | 0.05                | 42.4                     |
|               | 0.2                 | 72.3                     |
| Arroyo Metate | Testigo             | 0                        |
|               | 0.0125              | 16.6                     |
|               | 0.05                | 34.8                     |
|               | 0.2                 | 38.3                     |
| San Benito    | Testigo             | 0                        |
|               | 0.0125              | 11.1                     |
|               | 0.05                | 36.8                     |
|               | 0.2                 | 54.5                     |

**Cuadro 10b (continuación).** Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de amitraz en subpoblaciones de garrapatas *R. microplus* de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

| Rancho         | Concentraciones (%) | Mortalidad corregida (%) |
|----------------|---------------------|--------------------------|
| Desparramadero | Testigo             | 0                        |
|                | 0.0125              | 55.8                     |
|                | 0.05                | 81.5                     |
|                | 0.2                 | 100                      |
| La Virgen      | Testigo             | 0                        |
|                | 0.0125              | 30.7                     |
|                | 0.05                | 33.6                     |
|                | 0.2                 | 33.6                     |
| Don David      | Testigo             | 0                        |
|                | 0.0125              | 32.1                     |
|                | 0.05                | 35.3                     |
|                | 0.2                 | 44.7                     |
| La Sorpresa    | Testigo             | 0                        |
|                | 0.0125              | 29.6                     |
|                | 0.05                | 33.3                     |
|                | 0.2                 | 50                       |
| Ojtlán         | Testigo             | 0                        |
|                | 0.0125              | 67.9                     |
|                | 0.05                | 84.1                     |
|                | 0.2                 | 87.6                     |
| Camalote       | Testigo             | 0                        |
|                | 0.0125              | 32.1                     |
|                | 0.05                | 51.7                     |
|                | 0.2                 | 57.1                     |

La mortalidad larvaria corregida promedio para los grupos testigos fue de 0 %. Este parámetro fue mayor ( $P < 0.05$ ) en los grupos tratados, en los que se registró un valor global de 45.1 % y un rango de 11 % a 100 %. La variabilidad de la mortalidad larvaria corregida en las distintas unidades de producción indica diferentes grados de resistencia en cada una de ellas.

En la Figura 22 se puede apreciar la mortalidad larvaria promedio causada por diferentes concentraciones de amitraz.



**Figura 22.** Mortalidad larvaria provocada por diferentes concentraciones de amitraz en subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca. Literales diferentes indican diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ).

En la Figura 22 se observa que la mortalidad larvaria corregida fue menor ( $P < 0.05$ ) en el grupo testigo que en los grupos tratados. Asimismo, se puede apreciar que la mortalidad larvaria corregida fue mayor ( $P < 0.05$ ) en la concentración más alta que en la concentración más baja. Debido a que las concentraciones de amitraz probadas en los bioensayos fueron establecidas por la FAO (2004), no se probó la concentración recomendada por los laboratorios (0.025 %). Sin embargo, las concentraciones más cercanas fueron 0.0125 % y 0.05 % y tuvieron una mortalidad larvaria promedio de 33.3 % y 45.4 %, respectivamente. Esos valores están muy alejados del 98 % señalado por la NOM-006-ZOO-1993 para considerar a un ixodicida como eficaz.

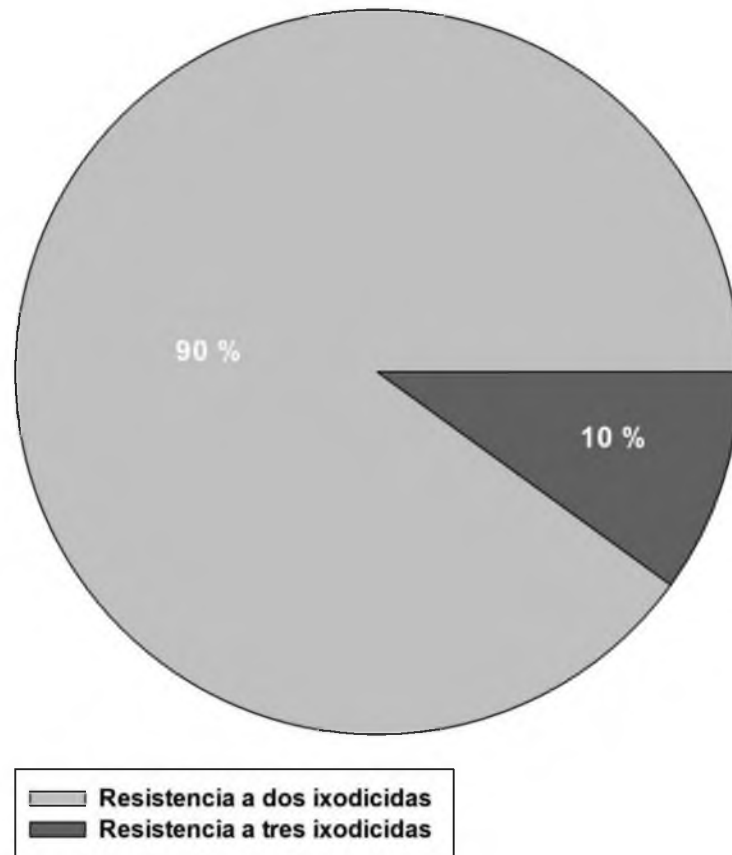
La concentración de amitraz más alta provocó una mortalidad larvaria de 56.6 %. Este resultado fue menor a lo registrado por Alota *et al.* (2021), quienes realizaron un estudio en 12 provincias de Luzon, Filipinas, y observaron que el amitraz a una concentración de 0.025 % provocó una mortalidad de 99.33 %. De igual manera, De la Cruz *et al.* (2023), en un estudio similar realizado en Chiapas y Tabasco obtuvieron una mortalidad del 50 % a una concentración de 300 ppm (0.03 %), siendo superior este porcentaje al obtenido en el presente estudio, aún en la concentración más alta. En contraparte, los resultados de esta investigación son similares a lo registrado en un estudio realizado en el municipio de Xochicoatlán, Hidalgo, México, donde se probó el amitraz a la concentración recomendada en 13 unidades de producción y se observó una mortalidad larvaria de 54.21 % (Valdez-Espinoza *et al.*, 2021). Los resultados de la presente investigación y los de los estudios citados muestran que existen diferentes grados de resistencia de la garrapata *R. microplus* al amitraz, lo que puede atribuirse a las diferentes condiciones de manejo y uso del ixodicida.

Los bajos niveles de mortalidad obtenidos aún con la concentración más alta de coumaphos permiten concluir que, la resistencia de la garrapata *R. microplus* en las subpoblaciones estudiadas está ampliamente extendida.

#### **6.4. Determinación de la existencia de subpoblaciones de garrapata *R. microplus* resistentes a uno o más principios activos**

Un factor importante en la resistencia de la garrapata *R. microplus* a los ixodicidas, es saber si las subpoblaciones son resistentes a uno o a varios principios activos, tomando en cuenta que cada uno de los grupos químicos utilizados tiene un mecanismo de acción diferente. Cuando las garrapatas se exponen por un tiempo prologado a diferentes fármacos, se desarrolla la resistencia cruzada o múltiple generando una problemática, ya que se reducen de manera súbita las opciones de control existentes en el mercado. En la Figura 23 se puede observar el porcentaje de las subpoblaciones de garrapata

*R. microplus* incluidas en el estudio que fueron resistentes a uno, dos o tres ixodicidas.



**Figura 23.** Porcentaje de subpoblaciones de garrapata *R. microplus* que muestran resistencia simultánea a dos o tres grupos de ixodicidas en unidades productivas de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

El resultado del presente estudio muestra que, en el 90 % de las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* estudiadas, se observó resistencia simultánea a dos ixodicidas (cipermetrina y amitraz), mientras que en el 10 % restantes, se registró resistencia múltiple a los tres ixodicidas evaluados en este estudio (cipermetrina, amitraz y coumaphos). Estos resultados difieren de lo reportado por Valdez-Espinoza *et al.* (2021), quienes estudiaron la susceptibilidad a varios ixodicidas de la garrapata *R. microplus* en trece ranchos de bovinos de Hidalgo, México, y observaron que el 84.6 % de las

subpoblaciones estudiadas fue resistente a tres grupos de ixodicidas (organofosforados, piretroides y amidinas, el 7.7 % fue resistente a cuatro grupos químicos (organofosforados, piretroides, amidinas y fenilpirazolonas) y el 7.7 % mostró resistencia únicamente a los piretroides. La diferencia de resultados puede deberse a que, en el estudio citado, además del coumaphos, se evaluaron otros principios activos pertenecientes al grupo de los organofosforados, los cuales mostraron una baja eficacia en el control de la garrapata lo que se contabilizó como una eficacia global de grupo. Sin embargo, tanto en el estudio citado como en la presente investigación, el coumaphos mostró una alta eficacia, provocando mortalidad larvaria superior al 98 %.

En el 90 % de las subpoblaciones incluidas en el presente estudio se observó resistencia al amitraz y cipermetrina. Esto coincide con lo descrito por Valdez-Espinoza *et al.* (2021) quienes reportaron que en once de los trece ranchos que evaluaron (84.6 %), tanto el amitraz como la cipermetrina no fueron eficaces para controlar la garrapata. En contraparte, el resultado de la presente investigación difiere de lo reportado por Fernández-Salas *et al.* (2012), en un estudio realizado en el estado de Veracruz y en el que observaron que el 47.2 % de los ranchos bovinos evaluados se observó resistencia simultánea a amitraz y cipermetrina.

En resumen, en los estudios citados y en la presente investigación, se observó que existe una alta proporción de unidades de producción con resistencia simultánea tanto a la cipermetrina como al amitraz. Lo anterior indica que estos compuestos han perdido su eficacia en la mayor parte de los ranchos estudiados y que existe la necesidad de sustituirlos por otros principios activos más eficaces.

## 6.5. Determinación del nivel resistencia de la garrapata *R. microplus* a ixodicidas mediante el cálculo de la concentración letal al 50 %, 90 % y 99 %

La resistencia de la garrapata es un problema sanitario con afectaciones importantes a la salud animal y pérdidas económicas. La prueba de paquete larvario es uno de los bioensayos más utilizados en el diagnóstico de la resistencia de la garrapata *R. microplus* a los ixodicidas, debido a su alta sensibilidad para detectar estados tempranos de resistencia (FAO, 2004; Valdez, 2009).

**6.5.1. Coumaphos.** De los ixodicidas utilizados en el control químico de la garrapata *R. microplus*, el coumaphos es el que se ha usado por más tiempo. En el Cuadro 11, se muestran las concentraciones calculadas mediante un análisis probit para causar la muerte del 50 %, 90 % y 99 % de las larvas incluidas en los paquetes larvarios.

**Cuadro 11.** Concentraciones de coumaphos calculadas mediante el análisis probit para lograr la concentración letal al 50 % (CL<sub>50</sub>), 90 % (CL<sub>90</sub>) y 99 % (CL<sub>99</sub>) en larvas de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

| Rancho         | Pendiente<br>± EE | CL 50 % (I.C. 95 %) | CL 90 % (I.C. 95 %)                 | CL99 % (I.C. 95 %)                 |
|----------------|-------------------|---------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| El Manantial   | 0±0*              | —                   | —                                   | —                                  |
| San Fernando   | 4.07±3.32         | 0.035               | 0.072                               | 0.130                              |
| Arroyo Metate  | 2.14±0.26         | 0.10 (0.000-0.201)  | 0.405 (0.207-2.5X10 <sup>16</sup> ) | 1.25 (0.448-8.9X10 <sup>43</sup> ) |
| San Benito     | 0±0*              | —                   | —                                   | —                                  |
| La Virgen      | 0±0*              | —                   | —                                   | —                                  |
| Don David      | 4.56±1.48         | 0.059 (0.020-0.077) | 0.112 (0.095-0.139)                 | 0.191 (0.149-0.524)                |
| Ojitlán        | 0±0*              | —                   | —                                   | —                                  |
| La Sorpresa    | 0±0*              | —                   | —                                   | —                                  |
| Camalote       | 0±0*              | —                   | —                                   | —                                  |
| Desparramadero | 0±0*              | —                   | —                                   | —                                  |

\*Todas las dosis utilizadas causaron una mortalidad del 100 %.

En siete de las diez unidades de producción incluidas en el estudio, el valor de la pendiente fue de 0. En todos los casos, desde la concentración más baja de coumaphos, se observó una mortalidad del 100 %, lo que es indicativo de que esas subpoblaciones de garrapatas son altamente susceptibles a este principio activo. En las tres subpoblaciones restantes (San Fernando, Arroyo Metate y Don David), el valor de la pendiente fue de 4.07, 2.14 y 4.45, respectivamente, lo que indica que la mortalidad larvaria se incrementó de manera muy marcada al aumentar las concentraciones de coumaphos (Villar *et al.*, 2016).

De las tres concentraciones analizadas, se le dio mayor importancia a la CL<sub>99</sub>, ya que es el valor teórico necesario para provocar la mortalidad del 99 % de las larvas o, dicho en otras palabras, la concentración en la que no existe resistencia. La CL<sub>99</sub> tuvo un promedio de 0.23 %, con un rango de 0.1 % a 1.25 %. En el rancho Arroyo Metate, la CL<sub>99</sub> fue de 1.25 %, mientras que, en las nueve unidades de producción restantes, la CL<sub>99</sub> fue menor al 0.2 % recomendado por los laboratorios. Lo anterior indica que, en nueve de las diez unidades de producción incluidas en este estudio, la dosis recomendada aún es eficaz para controlar a la garrapata *R. microplus*. Este resultado es similar a lo reportado por Bravo *et al.* (2008), quienes obtuvieron muestras de garrapatas de cuatro ranchos lecheros ubicados en el estado de Lara, Venezuela, y observaron una mortalidad larvaria del 100 % cuando el coumaphos se utilizó a una concentración de 0.5 %. En el mismo sentido, en un estudio realizado en Estados Unidos en el que se infestaron 16 becerros con garrapatas que tenían como origen Champotón, Campeche, México, se observó que cuando el coumaphos se utilizó a concentraciones de 0.165 %, 0.299 % y 0.566 %, se tuvo una mortalidad larvaria superior al 98 % (Davey *et al.*, 2003). La similitud de resultados en todos los estudios pudo deberse a prácticas muy parecidas en los programas de control químico de la garrapata, en las cuales el coumaphos no ha sido del todo utilizado indiscriminadamente, por ello, el ixodicida es eficaz en larvas, causando una mortalidad elevada. Asimismo, indican que el utilizar concentraciones más elevadas de coumaphos

es innecesario, pues más que obtener un efecto benéfico, tendría repercusiones negativas en el avance de la resistencia al incrementar la presión de selección de las garrapatas, por lo que se debe considerar un manejo controlado de este organofosforado.

**6.5.2. Cipermetrina.** El uso intensivo de la cipermetrina ha propiciado la aparición de generaciones de garrapatas resistentes. En el Cuadro 12 se muestra la CL99 calculada por medio del bioensayo de paquete larvario en subpoblaciones de garrapata *R. microplus* de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

**Cuadro 12.** Concentraciones de cipermetrina calculadas mediante el análisis probit para lograr la concentración letal al 50 % (CL<sub>50</sub>), 90 % (CL<sub>90</sub>) y 99 % (CL<sub>99</sub>) en larvas de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

| Rancho         | Pendiente<br>± EE | CL 50 % (I.C. 95 %)                 | CL 90 % (I.C. 95 %)                | CL99 % (I.C.<br>95 %) |
|----------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| El Manantial   | 0.84±0.41         | 14.61 (1.203-2.4x10 <sup>54</sup> ) | 481.53                             | 8,318.48              |
| San Fernando   | 1.42±0.48         | 1.82 (0.59-393.67)                  | 14.57 (2.09-1.7X10 <sup>5</sup> )  | 79.22                 |
| Arroyo Metate  | 1.85±2.55         | 4.69                                | 23.26                              | 85.72                 |
| San Benito     | 2.03±0.54         | 0.72 (0.39-4.79)                    | 3.10 (1.03-100.53)                 | 10.16                 |
| La Virgen      | 0.49±0.24         | 16.38                               | 6,510.31                           | 856,061               |
| Don David      | 1.85±2.55         | 4.69                                | 23.26                              | 85.72                 |
| Ojitlán        | 0.98±0.24         | 0.019 (0.007-0.029)                 | 0.385 (0.215-1.41)                 | 4.49                  |
| La Sorpresa    | 0.47±0.19         | 0.046 (0.006-0.085)                 | 23.88 (1.78-2.6X10 <sup>11</sup> ) | 3,920.88              |
| Camalote       | 0.76±0.20         | 0.423 (0.22-2.88)                   | 20.13 (2.93-8,106)                 | 468.94                |
| Desparramadero | 0.50±0.21         | 2.17                                | 763.61                             | 90,758.32             |

La pendiente obtenida en el análisis probit tuvo un promedio de 1.12, con un rango de 0.47 a 2.03. Lo anterior, indica la variabilidad de las concentraciones letales calculadas en las diferentes subpoblaciones incluidas en la presente investigación. Al analizar la CL<sub>99</sub>, se observó una concentración promedio 95,979.2 %, con un rango de 4.49 % a 856,061 %. En todos los casos, la CL<sub>99</sub> calculada es inmensamente superior a la concentración recomendada por los laboratorios (0.05 %). Lo anterior indica que todas las subpoblaciones de

garrapata *R. microplus* incluidas en el estudio muestran un alto grado de resistencia a la cipermetrina. Este resultado difiere en magnitud a lo reportado por Cabrera-Jiménez *et al.* (2008), quienes evaluaron 31 ranchos ubicados en la zona oriente de Yucatán, México, y calcularon una CL<sub>99</sub> promedio de 9.58 %, con un rango de 0.23 % a 124 %. Asimismo, Manzo *et al.* (2011), realizaron un estudio similar en el que se evaluó la presencia de garrapatas resistentes en 24 unidades de producción en los municipios de Actopan y Veracruz, Veracruz; reportó una CL<sub>99</sub> de una tasa promedio de 44.3 % con un rango de 2.3 % a 91.1 %. Aunque los estudios citados difieren en la magnitud de resistencia, todos tiene en común que la resistencia a cipermetrina existe en todos los ranchos en un grado muy alto, como consecuencia de un mal manejo del principio activo, de manera que, con el transcurso del tiempo la resistencia de acentúa en las subpoblaciones de garrapatas. Además, se ha determinado que los piretroides son el grupo de ixodicidas que más resistencia ha generado en los últimos años y que, en la mayoría de los casos, ya no es eficaz en el control químico de las garrapatas (Saporiti *et al.*, 2021; Valdez-Espinoza *et al.*, 2021).

**6.5.3. Amitraz.** El amitraz es la principal sustancia del grupo de las amidinas que se sigue usando abundantemente hoy en día en la ganadería, para el control químico de las garrapatas y ácaros en bovinos y ovinos (González, 2012). En el Cuadro 13 se indican las concentraciones de amidina utilizadas en el bioensayo de paquete larvario en unidades de producción de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

El valor promedio de la pendiente, obtenido en el análisis probit fue de 0.67, con un rango de 0.07 a 1.89. En términos generales, los valores de pendiente inferiores a 2.5 y los valores distantes entre CL<sub>50</sub>, CL<sub>90</sub> y CL<sub>99</sub> indican que la respuesta a cada una de las concentraciones está muy diferenciada (Villar *et al.*, 2016), ya que las distancias entre estas son enormes y, en muchos casos, fuera de la dosificación lógica que podría llevarse a cabo a nivel de campo.

**Cuadro 13.** Concentraciones de amitraz calculadas mediante el análisis probit para lograr la concentración letal al 50 % (CL<sub>50</sub>), 90 % (CL<sub>90</sub>) y 99 % (CL<sub>99</sub>) en larvas de garrapatas *R. microplus* de unidades de producción de la Región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca.

| Rancho         | Pendiente<br>± EE | DL 50 % (I.C. 95 %) | DL 90 % (I.C. 95 %)   | DL99 % (I.C.<br>95 %) |
|----------------|-------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| El Manantial   | 0.26±0.17         | 66.03               | 6,482,102             | 7.6X10 <sup>10</sup>  |
| San Fernando   | 0.80±0.16         | 0.049 (0.030-0.076) | 1.99 (0.659-24.62)    | 40.88                 |
| Arroyo Metate  | 0.54±0.17         | 0.53 (0.19-20.35)   | 123.98                | 10,566.77             |
| San Benito     | 1.14±0.18         | 0.13                | 1.77                  | 14.55                 |
| La Virgen      | 0.07±0.16         | 70,394.35           | 4.7X10 <sup>22</sup>  | 1.6X10 <sup>37</sup>  |
| Don David      | 0.31±0.16         | 1.54                | 8,496.24              | 20,462,192.78         |
| Ojitlán        | 0.65±0.18         | 0.002 (0.000-0.007) | 0.22 (0.103-2.28)     | 9.17                  |
| La Sorpresa    | 0.48±0.16         | 0.25 (0.109-6.11)   | 120.26                | 18,482.75             |
| Camalote       | 0.56±0.16         | 0.073 (0.040-0.180) | 14.32 (1.81-19,659.4) | 1,056.10              |
| Desparramadero | 1.89±0.27         | 0.013 (0.009-0.017) | 0.064 (0.049-0.097)   | 0.227                 |

La CL<sub>99</sub> para el amitraz en el presente estudio tuvo un promedio de 1.6X10<sup>36</sup>, con un rango de 0.22 % a 1.6X10<sup>37</sup> %. Este resultado difiere de lo observado por Jyoti *et al.* (2021), donde se tomaron muestras de garrapata en 19 granjas lecheras del estado de Punjab, en la India y registraron un rango para la CL<sub>99</sub> de 0.0031 % a 0.0435 %. Esta diferencia entre estudios puede atribuirse al manejo específico del fármaco en cada unidad de producción. En el mismo sentido, Gutiérrez-Wong *et al.* (2023), calcularon la CL<sub>99</sub> de 0.019 % en garrapatas obtenidas de un rancho perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán. La diferencia de resultados de la presente investigación y los del estudio citado puede deberse a que, en este último, sólo se evaluó un rancho. Llama la atención que, en todas las unidades de producción evaluadas, la CL<sub>99</sub> fue superior a la recomendada por los laboratorios (0.025 %), lo que indica ya existe resistencia a ese principio activo en las subpoblaciones de garrapata. Asimismo, las magnitudes de las CL<sub>99</sub> calculadas indican que se realizó un uso irracional del ixodicida, por lo que se deben considerar otras alternativas para el control de la garrapata.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

Las prácticas de manejo que contribuyen al establecimiento de la garrapata *R. microplus* a los ixodíctidos y que fueron identificadas mediante la aplicación de una encuesta semiestructurada fueron el criterio que utilizan los productores para realizar el baño garrapaticida, el origen del agua para realizar las mezclas de ixodíctidos, el tipo de ganado utilizado, el baño de una mayor cantidad de animales por bomba y falta de capacitación y asesoría técnica de los productores, el criterio de los productores para dosificar el ixodíctido comercial, la falta de rotación de principios activos, la mezcla injustificada de productos comerciales y la falta de conocimiento de los programas de control integrado de la garrapata.

Las diferentes concentraciones de coumaphos, amitraz y cipermetrina tuvieron un efecto significativo, pero no eficaz sobre el porcentaje de ovoposición y el porcentaje de control en las subpoblaciones de garrapata *R. microplus* estudiadas, lo que indica presencia de resistencia a esos ixodíctidos.

La técnica del paquete larvario mostró que únicamente el coumaphos fue eficaz en el control químico de la garrapata *R. microplus* en nueve de las diez subpoblaciones estudiadas. En contraparte, tanto la cipermetrina como el amitraz tuvieron una baja eficacia, ocasionada por fallas en el manejo de los productos comerciales.

El análisis probit mostró que el coumaphos fue altamente eficaz en siete de las diez subpoblaciones de garrapata *R. microplus* estudiadas, debido a que la  $CL_{99}$  calculada fue menor a la concentración recomendada por los laboratorios comerciales. En cambio, la  $CL_{99}$  calculada para cipermetrina y amitraz fue superior a la concentración recomendada, evidenciando una resistencia media y alta, respectivamente, evidenciando un uso prolongado e irracional de estos principios activos dentro de las unidades de producción incluidas en el estudio.

La resistencia de la garrapata *R. microplus* a coumaphos, cipermetrina y amitraz está ampliamente extendida en las unidades de producción bovina de la región Cuenca del Papaloapan, Oaxaca, ya que en nueve de las diez subpoblaciones se observó resistencia múltiple a la cipermetrina y el amitraz, mientras que, en la subpoblación restante presentó una resistencia simultánea al coumaphos, cipermetrina y amitraz.

## **7.2. Recomendaciones**

Los resultados del presente estudio mostraron una alta eficacia del coumaphos en el control químico de las subpoblaciones de la garrapata *R. microplus*. Por ello, se recomienda que se lleve a cabo un manejo adecuado de este principio activo, en conjunto con un programa de control integrado de la garrapata con el fin de evitar utilizarlo de manera intensiva, retrasar la aparición de la resistencia y conservar esta molécula dentro de las opciones de control.

Considerando que el 90 % de las unidades de producción incluidas en el presente estudio presentó resistencia simultánea a la cipermetrina y el amitraz, se recomienda que se eliminen estos principios activos de los programas de control químico de la garrapata por al menos dos años, para permitir la dilución de los genes de resistencia.

Para el manejo de la resistencia a ixodíidas, se recomienda realizar un diagnóstico de resistencia inicial y dependiendo del estatus del hato, ofrecer a los productores alternativas entre los diferentes grupos de ixodíidas, con el fin de disminuir la presión de selección.

## 8. LITERATURA CITADA

- Aguilera-Cogley, V. A., Jaén-Torrijos, M., Ávila-Rodríguez, L. Y., Herrera-Vásquez, J. Á., Jaén-Sanjur, J. N., Barba-Alvarado, A. A. 2020. Identificación y virulencia de *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales: Clavicipitaceae) como agente de control biológico de *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) en Panamá. *Idesia (Arica)*. 38(1):59-65.
- Aguirre, J., Sobrino, A., Santamaría, M., Aburto, A., Román, S., Hernández, M. 1986. Resistencia de garrapatas en México. Seminario Internacional de Parasitología Animal. Cuernavaca, Morelos, México. Pp.282-306.
- Albiter, S. P., Rebollar, S. R., Portillo, B. A., Martínez, A. G., Jordán, C. M. A. 2015. Análisis técnico económico de sistemas de bovinos doble propósito. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. (65):13-19.
- Alemán, Y., Martínez, S., Corona, B. 2014. Las garrapatas de interés veterinario en Cuba, y su importancia en las condiciones climáticas cambiantes. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 15(2):1-22.
- Alemán-Gaínza, Y., Montano Pérez, M., Infante Martínez, D., Martínez Coca, B. 2015. Cepas de *Lecanicillium lecanii* promisorias para el control biológico de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Revista de Protección Vegetal*. (30):95-95.
- Alonso-Díaz, M. A., Rodríguez-Vivas, R. I., Fragoso-Sánchez, H., Rosario-Cruz, R. 2006. Ixodicide resistance of the the *Boophilus microplus* tick to ixodicides. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 38(2):105-113.
- Alota, S. L., Edquiban, T. R. J., Galay, R. L., Bernardo, J. M. G., Sandalo, K. A. C., Divina, B. P., Tanaka, T. 2021. Determination of resistance status to amitraz in the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* from Luzon, Philippines, through bioassay and molecular analysis. *Experimental and Applied Acarology*. 83(3):399-409.

- Álvarez, R. 2017. Revisión sobre la biología de *Rhipicephalus sanguineus* (Arthropoda, Chelicerata) (Latreille, 1806). *Sostenibilidad, Investigación Agroalimentaria y Medioambiental*. 5(1):11-16. Disponible en: <https://doi.org/10.7770/safer-V5N1-art1173>
- Araque, A., Ujueta, S., Bonilla, R., Gómez, D., Rivera, J. 2012. Resistencia a acaricidas en *R. microplus* (*Boophilus microplus*) de algunas explotaciones ganaderas de Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 17:161-170.
- Araque, A., Ujueta, S., Bonilla, R., Gómez, D., Rivera, J. 2014. Resistencia a acaricidas en *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* de algunas explotaciones ganaderas de Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 17(1):161–170. Disponible en: <https://doi.org/10.31910/rudca.v17.n1.2014.951>
- Araya, L., Carazo, E., Cartín, V. M. 2005. Diagnóstico del uso de insecticidas utilizados contra *Bemisia tabaci* (*Gennadius*) en tomate y chile en Costa Rica. Manejo integrado de plagas y agroecología. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 75,68-76. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6039/A1868e.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- 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*. 16(4):115-124.
- Baxter, G. D., Green, P., Stuttgen, M., Barker, S. C. 1999. Detección de resistencia a organofosforados y carbamatos en la garrapata bovina *Boophilus microplus*, con un ensayo bioquímico a base de propoxur. *Acarología Experimental y Aplicada*. 23(11):907-914.

- Bravo, M. J., Coronado, A., Henríquez H. 2008. Susceptibilidad de larvas y adultos de *Boophilus microplus* al ixodicida coumafos en explotaciones lecheras del estado Lara, Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 26(1):41-46.
- Brizo, J. M., Lepe, M. A. 2022. Evaluación in vitro de cinco ixodicidas contra *Rhipicephalus microplus* en Catacamas, Olancho, Honduras. *Revista MVZ Córdoba*. 27(2):1-9.
- Broglio-Micheletti, S. M., De Souza, L. A., Valente, E. C., De Araújo, M. J., Dias, N., Gómez-Torres, M. L. 2012. Evaluation of entomopathogenic fungi as biological control agents *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini, 1887) (Acari: Ixodidae). *IDESIA: Revista de Agricultura en Zonas Áridas*. 30(1):93-99.
- Budovski, F. A. 2021. Utilización del sistema de pastoreo racional en las cabañas bovinas de la raza Brangus en la Provincia de Córdoba, Argentina, Año 2021 (Tesis de Licenciatura). Universidad Siglo 21, Ciudad de Río Ceballos, Córdoba, Argentina. 25 p.
- Bustamante, A. G. 1999. Situación actual de la campaña nacional contra la garrapata en México. Control de la resistencia en garrapatas y moscas de importancia veterinaria y enfermedades que transmiten. Seminario internacional de parasitología animal. Puerto Vallarta, Jalisco, México. Pp. 47-49.
- Bustillos, R., Rodríguez, R. 2016. Ecología parasitaria de *Rhipicephalus microplus* en bovinos: un problema de la ganadería de los trópicos del Ecuador. *Editorial Académica Española*. London, United Kingdom. 74 p.
- Cabrera-Jimenes D., Rodríguez-Vivas R. I., Rosado-Aguilar J. A. 2008. Evaluación de la resistencia a la cipermetrina en cepas de campo de *Boophilus microplus* obtenidas de ranchos bovinos del estado de Yucatán, México. *Técnica Pecuaria en México*. 46(4):439-448.
- Cantú, A., García, Z. S. 2015. Situación, resistencia, métodos integrados y alternativas en el control de garrapata *Boophilus spp.* En la producción de bovinos de carne en pastoreo en Tamaulipas. Instituto Nacional de

Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Villa Cuauhtémoc, Tamaulipas, Mexico. Disponible en: <http://www.ganaderiatropical.org/wp-content/uploads/2019/10/Memorias-CMGT-2015.pdf>

- Carmona, S. G. 2006. PH del agua para un buen efecto del garrapaticida. Disponible en: [https://www.engormix.com/ganaderia/garrapatas-bovinos/agua-buen-efecto-garrapaticida\\_f4952/](https://www.engormix.com/ganaderia/garrapatas-bovinos/agua-buen-efecto-garrapaticida_f4952/)
- Casas, E., Trigueros, A., Chávez, A., Tang, J., Ruiz, F. 2015. Tratamiento y control de Garrapata *Boophilus microplus*, a través de la combinación de Fluzuron/fipronil pour on, en bovinos de trópico, Pucallpa, Perú. XXVII Reunión Científica Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco 2015 y IV Congreso Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical.
- Castro, H. G., Tewolde, A. M., Toral, J. N. 2002. Análisis de los sistemas ganaderos de doble propósito en el centro de Chiapas, México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 10(17):5-183.
- Chalate-Molina, H., Gallardo-López, F., Pérez-Hernández, P., Paul Lang-Ovalle, F., Ortega-Jiménez, E., Vilaboa-Arroniz, J. 2010. Características del sistema de producción bovinos de doble propósito en el estado de Morelos, México. *Zootecnia Tropical*. 28(3):329-339.
- Chávez-Fortín, L. S. 2020. Determinación del grado de resistencia de garrapatas *Rhipicephalus microplus*, recolectadas en bovinos de cuatro fincas de La Gomera, Escuintla contra tres ixodicidas (Tesis de Doctorado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuintla, Guatemala. 48 p.
- Coello-Izquierdo, M. A. 2015. Caracterización e identificación de garrapatas en bovinos de tres islas en la provincia de Galápagos. (Tesis de Licenciatura). Universidad San Francisco de Quito, Ecuador. Quito, Ecuador. 49 p.

- Contreras-Ortega, A. 2014. Fauna de garrapatas (*acarí: ixodidae*) prevalentes en el departamento de Sucre, Caribe Colombiano (Tesis de Licenciatura). Universidad de Sucre, Colombia. Sucre, Colombia. 67 p.
- Cortés-Mora, J. A., Cotes-Torres, A., Cotes-Torres, J. M. 2012. Características estructurales del sistema de producción con bovinos doble propósito en el trópico húmedo colombiano. *Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias*. 25(2):229–239.
- Coure, U., Solari, M. A., Trelles, A. 2017. Situación de la resistencia y primer diagnóstico de poblaciones de garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* resistente a cinco principios activos en forma simultánea en Uruguay. *Veterinaria (Montevideo)*. 53(205):2-2.
- Cruz, R. R., García, D. I. D. 2011. *Boophilus microplus*: evolución y adaptación a la resistencia a los ixodicidas. Epidemiología de enfermedades parasitarias en animales domésticos. Cuernavaca, Morelos, México. 1-655.
- Cuore, U. 2006. Resistencia a los acaricidas, manejo y perspectivas. XXXIV Jornadas Uruguayas de Buiatría. Uruguay. 30-35 p.
- Cuore, U., Cardozo, H., Trelles, A., Nari, A., Solari, M. A. 2008. Características de los garrapaticidas utilizados en Uruguay. Eficacia y poder residual. *Veterinaria (Montevideo)*. 43(169):13-24.
- Cuore, U., Trelles, A., Sanchís, J., Gayo, V., Solari, M. A. 2007. Primer diagnóstico de resistencia al Fipronil en la garrapata común del ganado *Boophilus microplus*. *Veterinaria (Montevideo)*. 42(165-166):35-41.
- Davey R., J. George., R. Miller. 2003. Efficacy of various concentrations of coumafos to control adult, nymphal and larval stages of an organophosphate-resistance strain of *Boophilus microplus* on infested cattle. *American Journal of Veterinary Research*. 64(6):684-689.
- De la Cruz, A., Garduño, R. G., Pena, M. V., Arriola, R. O. C., Simán, E. M. 2023. Prevalencia y diagnóstico de resistencia a ixodicidas en

- garrapatas de ganado bovino en municipios de Chiapas y Tabasco, México. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*. 3(2):1-14.
- De Oliveira Souza Higa, L., Garcia, M. V., Barros, J. C., Koller, W. W., Andreotti, R. 2015. Acaricide resistance status of the *Rhipicephalus microplus* in Brazil: a literature overview. *Medicinal Chemistry*. (5):326-333.
- Díaz, E., 2012. Estudio molecular del gen de una carboxilesterasa relacionada con quimiorresistencia en la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Tesis de Doctorado). Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia.
- Domínguez, C., Martínez, N., Colmenares, O. 2004. Características reproductivas de rebaños bovinos doble propósito en los llanos centrales de Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 22(2):133-146.
- Domínguez-García, D. I., Rosario-Cruz, R., Almazán-García, C., Oaxaca, J. A. S., De la Fuente, J. 2010. *Boophilus microplus*: Aspectos biológicos y moleculares de la resistencia a los acaricidas y su impacto en la salud animal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12(2):181-192.
- Drummond, R.O., Ernest, S. E., Trevino, J. L., Gladney, W. J., Graham, O. H. 1973. *Boophilus annulatus* and *Boophilus microplus*: Laboratory test of insecticides. *Journal of Economic Entomology*. 66:130-133.
- Errecalde, J., Mestorino, N., Fiel, C., Nari, A. 2013. Terapéutica de las ectoparasitosis. Enfermedades parasitarias de importancia clínica y productiva en rumiantes. Fundamentos epidemiológicos para su diagnóstico y control. *Editorial Hemisferio Sur*. La Plata, Argentina. 625-30 p.
- Esponda, M. M., Cruz, M. Á. G., Tovar, L. G. 2021. Alternativas para el manejo de la garrapata *Boophilus microplus* en el Trópico Mexicano. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*. 4(3):4424-4435.

- FAO (Food and Agriculture Organization). 2004. Resistance Management and Integrated Parasite Control in Ruminants – Guidelines, Module 1– Ticks: Acaricide Resistance: Diagnosis, Management and Prevention. Food and Agriculture Organization, Animal Production and Health division, Rome, pp. 53.
- Farías, N. D. R. 1999. Situación de la resistencia de la garrapata *Boophilus microplus* en la región sur de río grande del sur, Brasil. 4. Seminario Internacional de Parasitología Animal. Puerto Vallarta, Jalisco, México. 20-22 octubre 1999.
- Fernández-Salas, A., Rodríguez-Vivas, R. I., Alonso-Díaz, M. Á. 2012. Resistance of *Rhipicephalus microplus* to Amitraz and Cypermethrin in Tropical Cattle Farms in Veracruz, México. *The Journal of Parasitology*. 98(5):1010-1014.
- Fuentes, Y., Peniche, A. E., Martínez, D. I., Romero, D., Schleske, I., Soto, I., Rosado, J. A., Rodríguez, R. I. Barradas, F. T. 2011. Resistencia de *Rhipicephalus (boophilus) microplus* a cipermetrina y amitraz en bovinos de Actopan y Veracruz, Ver. XXIV Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz y III del Trópico Mexicano 2011.
- Galindo S. A. M. 2017. Susceptibilidad de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* a ixodicidas comerciales en fincas de Arcabuco y Gachantivá-Boyacá. *Cultura Científica* (15):115-122.
- García, D. D., Agatón, F. T., Rosario-Cruz, R. 2016. Evaluación económica del control de garrapatas *Rhipicephalus microplus* en México. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*. 5(9):43-52.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª ed. Instituto de Geografía. UNAM. Serie libro Núm. 6. 90 p.
- García, P. R. 2020. Evaluación de alternativas fitoterapéuticas y acaricidas sintéticos sobre *Rhipicephalus (boophilus) microplus* (acarí: ixodidae).

(Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México. 72 p.

García-Corredor, D. J., Rodríguez-Vivas, R. I., Pulido-Medellín, M. O., Díaz-Anaya, A. M., Andrade-Becerra, R. J. 2016. Evaluación *in vitro* de *Cordyceps bassiana* (Ascomycota: Sordariomycetes) en el Control Biológico de *Rhipicephalus microplus*. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 27(1):130-136.

García-Martínez, A., Albarrán-Portillo, B., Avilés-Nova, F. 2015. Dinámicas y tendencias de la ganadería doble propósito en el sur del Estado de México. *Agrociencia*. 49(2):125-139.

Gómez-Martínez, M. J., Gutiérrez-Montes, I., Declerck, F. 2014. Percepción local acerca de la calidad del agua y la herpetofauna en fincas ganaderas del municipio de Matiguás, Nicaragua. *Revista Luna Azul*. (38):30-57.

Guerrero, F. D., Lovis, L., Martins, J. R. 2012. Mecanismos de resistencia a acaricidas en *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*. (21):1-6.

Gutiérrez, C., Mendieta, B. 2018. Caracterización de sistemas ganaderos en seis municipios de Rivas y Carazo, Nicaragua. *La Calera*. 18(30):14-25.

Gutiérrez-Osorio, J. D. 2006. Identificación de órganos blancos en garrapatas de la especie *Boophilus microplus* para anticuerpos-antigarrapata de bovinos inducidos por el inmunógeno Tick-Vac MK del laboratorio Limor de Colombia SA mediante métodos inmunoperoxidasasa (Tesis de Licenciatura). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 105 p.

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

- Hawkins, N. J., Bass, C., Dixon, A., Neve, P. 2019. The evolutionary origins of pesticide resistance. *Biological Reviews*. 94(1):135–155. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/brv.12440>
- Hernández, F. 2005. El manejo integrado en el control de garrapatas. Manual de ganadería doble propósito. Maracaibo, Venezuela. Universidad del Zulia. 384-391 p. Disponible en: [http://avpa.ula.ve/docuPDFs/libros\\_online/manualganaderia/seccion5/articulo17-s5.pdf](http://avpa.ula.ve/docuPDFs/libros_online/manualganaderia/seccion5/articulo17-s5.pdf)
- INEGI (Instituto Nacional de Información Geográfica y Estadística. Anuario Estadístico y geográfico de Oaxaca). 2017. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825084295>
- Jacho-Merino, M. G. 2015. Dinámica poblacional de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) Microplus* en ganado bovino lechero en el Cantón San Miguel de los Bancos (Tesis de Licenciatura). Universidad central de Ecuador. Quito, Ecuador. 64 p.
- Janer, E. C., Klafke, G. M., Fontes, F., Capurro, M. L., Schumaker, T. S. S. 2019. Mutations in *R. microplus* GABA gated chloride channel gene associated with fipronil resistance. *Ticks and Tick-borne Diseases*. 10(4):761-765. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2019.03.009>
- Jones, R. W. 2015. Extracción manual de garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en ganado bovino como estrategia de control. *Nutrición animal Tropical*. 9(1):88-101.
- Jyoti., Kumar S.N., Singh H., Kumar S.N., Rath S.S. 2021. Genotyping amitraz resistance profiles in *Rhipicephalus microplus Canestrini (Acari: Ixodidae)* ticks from Punjab, India. *Ticks and Tick borne Diseases*. 12(1):101-578.
- Kadoch-Zúñiga, N. 2013. Estandarización de un bioensayo acaricida sobre *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* Y *R. sanguineus* al (*ixodida*:

- ixodidae*) (Tesis de doctorado). Universidad de Panamá. República de Panamá, Panamá. 78 p.
- Kayser, Y., Montiel, F., Severino, V. H., Canseco, R., Ahuja, C. C., Barrientos, M., Molina, O. 2023. Caracterización tecnológica de ganaderos y su percepción sobre la transferencia de embriones en Guerrero, México. *Acta Universitaria*. 33:1-12.
- Klafke, G. M., Torres, T. T., Reck, J., Ricardo, J. 2013. La multiresistencia a los acaricidas y el control integral de garrapatas en Brasil. III Simposio internacional de resistencia a los pesticidas en artrópodos. São Paulo, Brasil. 1-12 p.
- Kumar J., Manzer H. 2022. *In vitro* detection of acaricidal resistance of cattle tick against commercial preparation of deltamethrin and cypermethrin in three villages of udaipur district (Rajasthan). *Journal of Experimental Agriculture International*. 44(12):91-98.
- Lara, D. M. 2007. Resistencia a los antihelmínticos en nematodos de rumiantes y estrategias para su control. *Corporación colombiana de investigación agropecuaria*. Bogotá, Colombia. 164 p. Disponible en: <https://colciencias.metadirectorio.org/handle/11146/39226>
- López, G. 1996. Sistema de control de artrópodos de importancia en medicina veterinaria. Estrategias de control. Epidemiología, diagnóstico y control de enfermedades parasitarias en bovinos. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Colombia)*. 33-40 p. Disponible en: <https://agris.fao.org/search/en/providers/122610/records/64775faba3fd11e4303b9a2c>
- López, M., Briceño, E. 2014. Comparación de grupos raciales de bovinos en cuanto a incidencia de garrapatas (Acari:ixodidae) y tórsalos (Diptera:oestridae). *Nutricion Animal Tropical*. 8(2):1-9.
- Márquez, D., Jiménez, G. 2003. Resistencia de las garrapatas a los acaricidas y estrategias para su control. *Corporación colombiana de investigación agropecuaria*. Bogotá, Colombia. 127 p. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1618>

- Martínez, F. 2016. Situación de la Resistencia de *B. microplus* en México. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. 1-39 p. Disponible en: <https://www.aphis.usda.gov/sites/default/files/sit-of-the-resis-ofbmicro-in-mx.pdf>
- Martínez-Arzate, S. G. 2018. Producción de vacunas contra garrapatas elaboradas con antígenos bm86 específicos de las cepas de *R. microplus* de México (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma del estado de México. Estado de México. México. 152 p.
- Martínez-Castro, C. J., Cotera-Rivera, J., Zavaleta, J. A. 2012. Características de la producción y comercialización de leche bovina en sistemas de doble propósito en Dobladero, Veracruz. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 30:816-824.
- Martínez-Castro, C. J., Ríos-Castillo, M., Castillo-Leal, M., Jiménez-Castañeda, J. C., Cotera-Rivera, J. 2015. Sustentabilidad de agroecosistemas en regiones tropicales de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*. 18(1):113-120.
- Martínez-González, J., Castillo-Rodríguez, S., Villalobos-Cortés, A. y Hernández-Meléndez, J. 2017. Sistemas de producción con rumiantes en México. *Ciencia Agropecuaria*. (26):132-152.
- Mastropaolo, M. 2014. Epidemiología de la babesiosis de los bovinos causada por *Babesia bigemina* (Smith y Kilborne, 1893) en el sudoeste de la provincia del Chaco (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional de La Plata. La plata, Argentina. 1-150 p.
- Membreño R. H. J., Ortiz, A. D. C. 2015. Efectividad de los garrapaticidas (piretroides, amidinas, organofosforados) *in vitro* bajo las condiciones ambientales de la finca experimental “Las Mercedes”, municipio de Managua durante junio-septiembre (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Agraria. Torreón, Coahuila. 29 p.
- Mendoza, J. 2021. Evaluación de la inmunización con un polipéptido de RmS17 sobre la infestación de garrapatas *Rhipicephalus microplus* en

- conejos (Tesis de Licenciatura). Universidad autónoma del estado de México. Estado de México, México. 1-89 p.
- Miller, R. J., Almazán, C., Ortiz-Estrada, M., Davey, R. B., George, J. E., De León, A. P. 2013. First report of fipronil resistance in *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* of Mexico. *Veterinary Parasitology*. 191(1-2):97-101.
- Miller, R. J., Davey, R., George, J. E. 1999. Characterization of pyrethroid resistance in Mexican strains of the cattle tick (*Boophilus microplus*) *Acari: Ixodidae*. *Journal of Medical Entomology*. (36):533-538.
- Miranda-Miranda, E., Aguilar-Díaz, H., Arreguín-Pérez, C. A., Sachman-Ruíz, B., Fernández-Rubalcaba, M., Cossio-Bayugar. 2016. R. glutatió n s transferasa como marcador de resistencia a los acaricidas en la garrapata del ganado *Rhipicephalus microplus* (acari: ixodidae). *Entomología Mexicana*. 3:45-50.
- Monforte, J. M., Arjona, G. R., González, J. M. 2006. Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Archivo Latinoamericano de Producción Animal*. 14(3):105-114.
- Moreno, S. A. 2023. Estado de la resistencia a ivermectina en *Rhipicephalus microplus* y factores asociados en el noreste de México (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México. 77 p.
- Morgado-Ramírez, D. R. 2021. Efecto de *Metarhizium anisopliae* (MaV25) sobre el control simultáneo de *Rhipicephalus microplus* y *Haematobia irritans* en bovinos infestados naturalmente en el trópico de México (Tesis de Licenciatura). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Los Reyes de Juárez, Puebla. 1-52 p.
- Muñoz, M. (2002). Antiparasitarios externos. Farmacología y terapéutica veterinaria. Primera edición. Madrid, España. *Edigrafos, S. A.* 1-746 p.

- Norma Oficial Mexicana NOM-006-ZOO-1993. Requisitos de efectividad biológica para los ixodicidas de uso en bovinos y método de prueba. Diario Oficial de la Federación. México. D.F. Secretaría de Gobernación.
- Oporta-López, J. J. 2017. Control microbiano de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) del ganado bovino, con hongos entomopatógenos en condiciones de laboratorio (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional Agraria. Juigalpa, Chontales-Nicaragua. 1-54 p.
- Orantes-Zebadúa, M. Á., Platas-Rosado, D., Córdova-Avalos, V., los Santos-Lara, D., del Carmen, M., Córdova-Avalos, A. 2014. Caracterización de la ganadería de doble propósito en una región de Chiapas, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*. 1(1):49-58.
- Pacheco-Hernández, M. L., Reséndiz-Martínez, J. F., Arriola-Padilla, V. J. 2019. Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: una revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 10(56):4-32. Disponible en: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.496>
- Parra-Cortés, R. I. y Magaña-Magaña, M. A. 2019. Características técnico-económicas de los sistemas de producción bovina basados en razas criollas introducidas en México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*. 6(18):535-547. Disponible en: <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2160>
- Polanco-Echeverry, D. N., Ríos-Osorio, L. A. 2016. Aspectos biológicos y ecológicos de las garrapatas duras. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 17(1): 81-95.
- Pulido-Medellín, M. O., Rodríguez-Vivas, R. I., García-Corredor, D. J., Díaz-Anaya, A. M., Andrade-Becerra, R. J. 2015. Evaluación de la eficacia de la CEPA MAF1309® de *Metarhizium anisopliae* en el control biológico de garrapatas adultas de *Rhipicephalus microplus* en Tunja, Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*. 56(2):80-86.
- Rivera, E. D. 2012. Mecanismos moleculares y bioquímicos de resistencia a acaricidas en la garrapata común de los bovinos *R. microplus*. *Revista*

- colombiana de Ciencia Animal*. 5 p. Disponible en:  
<http://revistas.ut.edu.co/index.php/ciencianimal/article/view/128/127>
- Rivera, G. H., Román, A., Domínguez, B., Muñoz, S., Hernández, A., Cervantes, P., Romero, D. 2009. Resistencia de *Rhipicephalus (Boophilus) spp* a ixodicidas en ranchos ganaderos del sur de Veracruz, México. XXII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Veracruz 2009. 1-10 p.
- Rodríguez, A. E. C. 2019. Implementación de un Cultivo de Células Embrionarias de Garrapata *Rhipicephalus microplus* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro, Querétaro. 1-47 p.
- Rodríguez, J. C., Rodeiro, I. 2014. El sistema citocromo P450 y el metabolismo de xenobióticos. *Revista Cubana de Farmacia*. 48(3):495-507. Disponible en:  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S003475152014000300015&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003475152014000300015&lng=es&tlng=es)
- Rodríguez-Hidalgo, R., Pérez, O. X., Garcés, C. S., Vanwambeke, S. O., Madder, M., Benítez, O. W. 2017. Estado actual de la resistencia a alfacipermetrina, ivermectina y amitraz de la garrapata del ganado (*Rhipicephalus microplus*) en Ecuador. *PLOS ONE*. 12(4):1-15.
- Rodríguez-Pacheco, J. E., Pulido-Medellín, M. O., García-Corredor, D. J. 2017. Resistencia *in vitro* de la garrapata *Rhipicephalus microplus* a organofosforados, piretroides y amitraz en el Departamento de Boyacá, Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*. 58(1):17-23.
- Rodríguez-Vivas, R. I. 2018. Curso de capacitación para la inspección de ganado y control de la garrapata (*Boophilus spp.*) para la movilización nacional y exportación. La Comisión de Parasiticidas (CP) de la Industria Farmacéutica Veterinaria (INFARVET). Piedras Negras, Coahuila, México. Del 19 al 21 de septiembre del 2018. 1-94 pp.
- Rodríguez-Vivas, R. I., A. Rosado A., G. Basto E., Z. S. García V., R. Rosario C., H. Frago S. 2006. Manual técnico para el control de garrapatas en

- el ganado bovino. Publicación Técnica No. 4. CENID-Parasitología Veterinaria. México. 29 p.
- Rodríguez-Vivas, R. I., Arieta-Román, R. J., 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., Hodgkinson, J. E., Trees, A. J. 2009. Perspectivas de la investigación genómica en el control de la garrapata y los patógenos que transmite. Memorias del II simposio internacional de resistencia a los pesticidas en artrópodos. Mérida, Yucatán.
- Rodríguez-Vivas, R. I., Hodgkinson, J. E., Trees, A. J. 2012. Resistencia a los acaricidas en *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: situación actual y mecanismos de resistencia. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 3(1):9-24.
- Rodríguez-Vivas, R. I., Jonsson, N. N., Bhushan, C. 2018. Estrategias para el control de garrapatas *R. microplus* en un mundo de resistencia a acaricidas convencionales y lactonas macrocíclicas. *Investigación de Parasitología*. 117(1):3-29.
- Rodríguez-Vivas, R. I., Rosado, A., Basto, G., Garcia, Z. S., Rosario, R., Fragoso, H. 2006. Manual técnico para el control de garrapatas en el ganado bovino (Folleto técnico). Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Parasitología Veterinaria. 4:1-36 pp.
- Rodríguez-Vivas, R. I., Rosado-Aguilar, J. A., Ojeda-Chi, M. M., Pérez-Cogollo, L. C., Trinidad-Martínez, I., Bolio-González, M. E. 2014. Control integrado de garrapatas en la ganadería bovina. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 1(3):295-308.
- Rodríguez-Vivas, R. I., Rosado-Aguilar, J. A., Rosario-Cruz, R., Gracia-Vázquez, Z., Alonso-Díaz, M. A. 2008. Situación actual de la resistencia a los ixodidas de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en el sureste

- de México: diagnóstico, epidemiología y control. IV Seminario Internacional de Parasitología Animal. Boca del Río, Veracruz.
- Romero-Nasayo, A., Benavides-Ortiz, E., Herrera-González, C., Parra-Trujillo, M. H. 1997. Resistencia de la garrapata *Boophilus microplus* a acaricidas organofosforados y piretroides sintéticos en el departamento del Huila. *Revista Colombiana de Entomología*. 23(1):9-17. Disponible en: <https://doi.org/10.25100/socolen.v23i1.9862>
- Rosario-Cruz, R., Torres-Guzmán, F., Domínguez-García, D. I., Ortiz-Estrada, M. 2014. La genética reversa y el desarrollo de vacunas contra la garrapata del ganado vacuno *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Revista Tamati Sabiduría*. 5(2):60-65.
- Ruatta, S. M. 2020. Desarrollo de nuevos ectoparasiticidas basados en pirazoles fluorados para aplicación tópica veterinaria (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina. 162 p.
- Ruiz-Malaver, N. A., Blanco-Niño, R. 2009. Grado de resistencia del *Rhipicephalus Boophilus microplus* a productos ixodicidas, y su residualidad en leche en 20 predios del sistema doble propósito del piedemonte llanero (Tesis de Licenciatura). Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia. 1-94 p.
- Salazar-Benjumea, R. S. 2015. Variación de la población de garrapatas *Rhipicephalus microplus* sobre bovinos pastoreando en sistemas silvopastoriles y monocultivos tradicionales (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 1-99 p.
- Santamaría-Vargas, M., Soberanes-Céspedes, N., Fragoso-Sánchez, H., Martins, J. R., Cordovés-Céspedes, C. O. 2003. Evaluación *in vitro* de una cepa de campo de *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) resistente a Amitraz. *Ciencias Rurales*. (33):737-742.
- Santos, T. R. B., Klafke, G. M., Pappen, F. G., Nizoli, L. Q., Biegelmeier, P., Farias, N. A. R. 2013. Comparación de tres bioensayos larvarios para

- evaluar la susceptibilidad de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* al amitraz. *Revista Brasileira de Parasitología Veterinaria*. (22):495-501.
- Saporiti, T., Losiewics, S., Trelles, A., Miraballes, C., Correa, F. R., Cuore, U. 2021. Análisis del perfil de susceptibilidad de la garrapata *Rhipicephalus microplus* para cinco grupos químicos y factores asociados en poblaciones de campo del norte de Uruguay. *Veterinaria Montevideo*. 57(215):1-11 p.
- Schleske, I. C. 2011. Prevalencia de unidades de producción con garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* resistentes a Amidas y factores de riesgo asociados a su presentación en la región Centro del Estado de Veracruz (Tesis de Maestría). Universidad Veracruzana. Veracruz, Veracruz. 1-69 p.
- Sheen, S., Riesco, A. 2002. Factores que afectan la producción de leche en vacas de doble propósito en trópico húmedo (Pucallpa). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 13(1):25-31.
- Singh, N. K., Gelot, I. S., Jyoti, S. V., Rath, S. S. 2015. Detection of amitraz resistance in *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* from North Gujarat, India. *Journal of Parasitic Diseases*. 39:49-52.
- Sosa, E. 2014. Diagnóstico de la susceptibilidad de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* a ivermectina en unidades de producción bovina del sur de Veracruz (Tesis de Licenciatura). Universidad Veracruzana. Veracruz, Veracruz. 1-56 p.
- Taylor M. A., Coop, R. L., Wall R. L. 2007. *Veterinary Parasitology*. Thrid edition. *Blackwell Publishing*. Disponible en: [https://www.google.com.mx/books/edition/Veterinary\\_Parasitology/tPpEofdsZ5gC?hl=es&gbpv=1&dq=Veterinary+Parasitology.+Third+edition.+Ucrania.+Blackwell+Publishing.&printsec=frontcover](https://www.google.com.mx/books/edition/Veterinary_Parasitology/tPpEofdsZ5gC?hl=es&gbpv=1&dq=Veterinary+Parasitology.+Third+edition.+Ucrania.+Blackwell+Publishing.&printsec=frontcover)
- Temeyer, K. B., Pruet, J. H., Olafson, P. U., Chen, A. C. 2007. R86Q, a Mutation in BmAChE3 Yielding a *R. microplus* Organophosphate-

Insensitive Acetylcholinesterase. *Journal of Medical Entomology*. 44(6):1013-1018.

- Tipacamú, G. A., Nazar, P. M., Sesma, B. R., Llaven, M. Á. O., Martínez, C. E. I. y Trujillo, G. U. B. 2009. Resistencia al amitraz de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en unidades de producción del estado de Chiapas. *Quehacer Científico Chiapas*. 1(7):16-22.
- Torres, A. F., Chan-Pérez, J., López, A. M. E., Rosado, A. J. A. 2015. Diagnóstico de resistencia a los antiparasitarios en rumiantes. En: Técnicas para el diagnóstico de parásitos con importancia en salud pública y veterinaria. AMPAVE-CONASA, México DF. 355-403 p.
- Treviño, R. 2013. Evaluación de resistencia a ixodidas 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. Monterrey, Nuevo León. 76 p. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/3731>
- Garza, U. E. 2007. La garrapata *Rhipicephalus microplus* y su manejo en la planicie huasteca. Campo experimental sur de Tamaulipas. Sitio experimental Ébano. CIRNE-INIFAP. San Luis Potosí, México. (14):15. Disponible en: <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/180.pdf>
- Valdez, H. Y. 2009. Determinación del grado de resistencia de la garrapata *Boophilus microplus* en ganado bovino contra tres diferentes ixodidas a través de la técnica de inmersión de adultas (Adult Immersion Test) en fincas de la comunidad La Gloria, Municipio de La Libertad Departamento de Petén (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 1-42 p.
- Valdez-Espinoza, U. M., Hernández, O. R., Lagunes-Quintanilla., Castro, S. E. 2021. Análisis de la susceptibilidad a los ixodidas en hatos bovinos de una región del estado de Hidalgo, México. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*. 4(3):3642-3648.

- Vanegas, M. A. 2015. Efectos de la infestación de garrapata *Boophilus microplus*, en la ganancia de peso y los parámetros reproductivos y fenotípicos de toros Brangus hasta los 19 meses (Tesis de Licenciatura). Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. 29 p.
- Vega, O. F. L. 2007. Pasado, presente y futuro del control biológico en Cuba. *Fitosanidad*. 11(3):61-66.
- Vilaboa-Arroniz, J., Díaz-Rivera, P., Ruiz-Rosado, O., Platas-Rosado, D. E., González-Muñoz, S., Juárez-Lagunes, F. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10(1):53-6.
- Vilela, V. L. R., Feitosa, T. F., Bezerra, R. A., Klafke, G. M. & Riet-Correa, F. 2020. Multiple acaricide-resistant *Rhipicephalus microplus* in the semi-arid region of Paraíba State, Brazil. *Ticks and Tick-Borne Diseases*. 11(4):101413.
- Villar, D., Gutiérrez, J., Piedrahita, D., Rodríguez, A., Cortés, J. A., Góngora, A., Martínez, N., Chaparro, J. J. 2016. Resistencia *in vitro* a acaricidas tópicos de poblaciones de garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* provenientes de cuatro departamentos de Colombia. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 11(3):58-70.
- Villar, D., M. V., Puerta, J., López, A. y Chaparro, J. J. 2016. Resistencia de tres poblaciones de *Rhipicephalus microplus* a la ivermectina por el ensayo de inmersión de larvas. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 29(1):51.
- Yessinou, R. E., Akpo, Y., Adoligbe, C., Adinci, J., Assogba, M. N., Koutinhoun, B., Farougou, S. 2016. Resistance of tick *Rhipicephalus microplus* to acaricides and control strategies. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 4(6):408-414.

Zúñiga-Torres, C. I. 2021. Evaluación de resistencia a acaricidas en garrapata *Rhipicephalus sanguineus* en Mexicali, Baja California (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California. 1-46 p. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12930/7979>