

**Universidad Autónoma de Sinaloa**  
Colegio de Ciencias Agropecuarias  
Facultad de Agronomía  
**Doctorado en Ciencias Agropecuarias**



**TESIS:**

“MONITOREO DE LA RESISTENCIA A INSECTICIDAS EN POBLACIONES DE PICUDO DEL CHILE *Anthonomus eugenii* Cano (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) DEL ESTADO DE SINALOA”

**Que para obtener el grado de  
Doctor en Ciencias Agropecuarias**

**PRESENTA:  
FABIÁN AVENDAÑO MEZA**

**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. SAÚL PARRA TERRAZA**

**CO-DIRECTOR DE TESIS:  
DR. JOSÉ LUIS CORRALES MADRID**

**Culiacán, Sinaloa, México, diciembre de 2017**

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **FABIÁN AVENDAÑO MEZA**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR: DR. SAÚL PARRA TERRAZA

CO-DIRECTOR: DR. JOSÉ LUIS CORRALES MADRID

ASESOR: DR. PEDRO SÁNCHEZ PEÑA

CULIACÁN, SINALOA, DICIEMBRE DE 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán, Sinaloa, el día 12 del mes de julio del año 2021, el que suscribe FABIÁN AVENDAÑO MEZA alumno del Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS con número de cuenta 9866101-9, de la Unidad Académica FACULTAD DE AGRONOMÍA, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. SAÚL PARRA TERRAZA y de acuerdo al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor, cede los derechos del trabajo intitulado "MONITOREO DE LA RESISTENCIA A INSECTICIDAS EN POBLACIONES DE PICUDO DEL CHILE *Anthonomus eugenii* Cano (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) DEL ESTADO DE SINALOA", a la Universidad Autónoma de Sinaloa para su publicación, difusión, edición, reedición, traducción, compilación, distribución y explotación en medios impresos y digitales, con fines académicos y de investigación, la que será titular del mismo, en forma conjunta o separada con el autor.

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

En apego al Art. 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor Cedo el derecho de publicación, difusión, edición, reedición, traducción, compilación, distribución y explotación en medios impresos y digitales, con fines académicos y de investigación a la Universidad Autónoma de Sinaloa.

FABIÁN AVENDAÑO MEZA

---

Nombre completo y firma



## UAS- Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional

#### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

## DEDICATORIA

A mis padres Rosendo y María Virgen, un eterno agradecimiento por su apoyo.

A mi esposa Ana por su apoyo incondicional durante estos años de estudio, por su cariño y comprensión.

A mis hijos, naturales y adoptivos: Daniel, Zuilma, Cuauh, Mara, Terry y Toby.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma de Sinaloa y al Colegio de Ciencias Agropecuarias por darme la oportunidad de cumplir una meta más de mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por brindarme el financiamiento de mis estudios de posgrado mediante una beca económica.

Un sincero agradecimiento a mi director de tesis Dr. Saúl Parra Terraza y a mis asesores Dr. José Luis Corrales Madrid y Dr. Pedro Sánchez Peña, por su paciencia, confianza, por las asesorías y por sus atinadas sugerencias en la realización del presente trabajo.

Al Dr. José Concepción Rodríguez Maciel por sus sabios consejos y al Colegio de Postgraduados por recibirme en sus aulas para concluir una estancia académica.

A las empresas Agrícola Tarriba, S. de R. L. de C. V., Divemex y Agrosabino S. A. de C. V. por las facilidades otorgadas durante el desarrollo de los trabajos de campo y en la recolección del material biológico para la realización de los bioensayos.

Al Sr. Martín González, le expreso mi agradecimiento por su apoyo y amistad. Su ayuda fue invaluable en los trabajos de campo y para la colecta de frutos en El Rosario, Sinaloa.

A la Sra. Teresa Villalobos y familia, su hospitalidad y amistad tienen valor incalculable.

A los estudiantes Sergio Saúl Gaspar Aguilar, Fabián Daniel Avendaño Jatomea y Mercedes Margarita Soto, por su apoyo en los trabajos de campo y laboratorio.

Al Sr. Jesús Avendaño Meza por su apoyo en los trabajos de campo.

Gracias a las personas que han sido clave en mi vida y en mi desarrollo profesional, sobre todo a mi amigo Gildardo Castro Quiñonez, su apoyo fue total e incondicional.

# CONTENIDO

	<b>PÁGINA</b>
ÍNDICE DE CUADROS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT.....	Vii
	i
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA .....	1
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.1. Objetivos .....	2
1.2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
1.2.1. El cultivo de chile ( <i>Capsicum annuum</i> L.) .....	3
1.2.1.1. Origen del género <i>Capsicum</i> .....	3
1.2.1.2. Importancia del cultivo de chile .....	3
1.2.2. El picudo del chile <i>Anthonomus eugenii</i> Cano .....	4
1.2.2.1. Origen y distribución .....	4
1.2.2.2. Importancia y daños .....	5
1.2.2.3. Ubicación taxonómica .....	5
1.2.2.4. Descripción y ciclo de vida .....	5
1.2.2.5. Control químico y Manejo de la Resistencia a Insecticidas .....	7
1.2.2.6. Susceptibilidad del picudo del chile a insecticidas .....	9
1.2.2.7. Línea base .....	12
1.2.2.8. Control biológico .....	13

1.2.3. El bioensayo .....	15
1.2.4. Análisis Probit .....	16
1.2.5. Información generada por el análisis Probit .....	18
1.2.5.1. Prueba de bondad de ajuste. ....	19
1.2.5.2. Pendiente de la línea de regresión .....	19
1.2.5.3. Límites fiduciales .....	19
CAPÍTULO 2. RESISTENCIA A INSECTICIDAS EN TRES POBLACIONES DE PICUDO DEL CHILE <i>Anthonomus eugenii</i> CANO EN EL ESTADO DE SINALOA, MÉXICO .....	20
2.1. INTRODUCCIÓN .....	20
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
CAPÍTULO 3. EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE INSECTICIDAS PARA EL MANEJO DE LA RESISTENCIA DEL PICUDO DEL CHILE .....	29
3.1. INTRODUCCIÓN .....	29
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES .....	39
CAPITULO 5. LITERATURA CITADA .....	41
ANEXOS.....	51



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Toxicidad a insecticidas en tres poblaciones de Picudo del Chile <i>A. eugenii</i> del estado de Sinaloa. 2014. ....	26
2	Promedio de adultos de picudo del chile <i>A. eugenii</i> en cuatro muestreos realizados en cultivo de chile bell a campo abierto en La Cruz de Elota, Sinaloa. 2015. ....	32
3	Promedio de adultos de picudo del chile <i>A. eugenii</i> en cuatro muestreos realizados en cultivo de chile jalapeño a campo abierto en El Rosario, Sinaloa. 2015. ....	34
4	Promedio de adultos de picudo del chile <i>A. eugenii</i> en cuatro muestreos realizados en chile bell bajo malla sombra en Culiacán, Sinaloa, 2015.. ....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
<b>1</b>	Porcentajes de efectividad de cinco insecticidas en la población de picudo del chile <i>A. eugenii</i> de La Cruz de Elota, Sinaloa. 2015. a) Promedio de las dosis bajas y altas de cada insecticida, b) Tratamientos ó Interacción dosis x insecticida. ....	33
<b>2</b>	Porcentajes de efectividad de cinco insecticidas en la población de picudo del chile <i>A. eugenii</i> de El Rosario, Sinaloa. 2015. a) Promedio de las dosis bajas y altas de cada insecticida, b) Tratamientos ó Interacción dosis x insecticida. ....	34
<b>3</b>	Porcentajes de efectividad de cinco insecticidas en la población de picudo del chile <i>A. eugenii</i> de Culiacán, Sinaloa. 2015. a) Promedio de las dosis bajas y altas de cada insecticida, b) Tratamientos ó Interacción dosis x insecticida. ....	35

## RESUMEN

### Monitoreo de la resistencia a insecticidas en poblaciones de picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) del estado de Sinaloa

Fabián Avendaño Meza

El método de control químico es el más común y prácticamente el único dirigido intencionalmente para el combate del picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano. El número de aplicaciones exceden las 15 por temporada, lo que incrementa los costos de producción, provoca severos riesgos a la salud de las personas, causa contaminación ambiental, eliminación de enemigos naturales de la plaga y problemas de resistencia a insecticidas. Se cree que esta plaga se está volviendo resistente en algunas zonas. Por lo anterior, se realizaron bioensayos con poblaciones de picudo del chile colectadas en tres campos hortícolas de Sinaloa, México (La Cruz de Elota, Culiacán y El Rosario), con la finalidad de determinar la susceptibilidad de la plaga a los insecticidas clorpirifós etil, malatión, oxamil, thiametoxam y zeta-cipermetrina, que comúnmente se utilizan para su combate. Los resultados indican que la población de La Cruz de Elota desarrolló ligera tolerancia a los insecticidas clorpirifós etil, malatión y oxamil, ya que se obtuvieron valores del factor de resistencia superiores a 10x, lo que significa que, actualmente se necesita ese número de veces la cantidad de insecticida para obtener la  $DL_{50}$ , comparado con la población de El Rosario que resultó más susceptible. Para thiametoxam, los resultados indican que la misma población desarrolló niveles altos de tolerancia con un factor de resistencia de 50.4x.

Adicionalmente, se realizó un estudio de efectividad biológica de los insecticidas clorpirifós etil, malatión, oxamil, thiametoxam y zeta-cipermetrina para el control del picudo del chile en campos de La Cruz de Elota, El Rosario y Culiacán, Sinaloa. Los experimentos se establecieron en un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, con la variante 'Insecticida' en las parcelas chicas y 'Dosis' en el factor de parcelas grandes. Los resultados indican que la población de picudos de La Cruz de Elota presentó los niveles más bajos de control al registrar porcentajes inferiores al 50%; mientras que la población de El Rosario resultó ser más susceptible a los insecticidas evaluados, con porcentajes de efectividad superiores al 74%. Todos los tratamientos insecticidas fueron diferentes estadísticamente al testigo.

**Palabras clave:** Susceptibilidad, insecticidas, tolerancia, bioensayo, efectividad biológica, *Capsicum annum*, *Anthonomus eugenii*,

## ABSTRACT

### **Monitoring resistance of pepper weevil *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) populations to insecticides in State of Sinaloa**

**Fabián Avendaño Meza**

The most common control method, and practically the only intentionally targeted to kill the pepper weevil *Anthonomus eugenii* Cano, is the use of chemicals, which can exceed a number of 15 applications per season. This increases production costs, affects human's health, causes environmental pollution, resistance to insecticides and elimination of natural enemies, among other problems. It is suspected that this plague is becoming resistant in some production areas; therefore, bioassays were made with pepper weevil populations from three horticultural fields of Sinaloa, Mexico (La Cruz de Elota, Culiacán and El Rosario), to determine the susceptibility of the pest to insecticides chlorpyrifos ethyl, malathion, oxamyl, z-cypermethrin and thiamethoxam which are used for its combat. These results suggest that the population of La Cruz de Elota has developed slight tolerance to chlorpyrifos ethyl, malathion and oxamyl insecticides, because the resistance ratio values obtained were greater than 10x, compared with a susceptible population of El Rosario. For thiamethoxam, the results indicate that the same population has developed high levels of tolerance, with a resistance ratio of 50.4x.

In addition, a biological effectiveness trial of the insecticides chlorpyrifos ethyl, malathion, oxamyl, thiamethoxam and z-cypermethrin to determine the percentage of participation of each one in the control of pepper weevil in commercial farms from La Cruz de Elota, El Rosario y Culiacan, in Sinaloa State, Mexico was performed. Experiments were established on a randomized block design arranged in split plots, with 'Insecticida' variant in the subplots and 'Dosis' factor in large plots. The data indicate that the pepper weevil population of La Cruz de Elota showed the lowest levels of control when registering lower percentages than 50%; while pepper weevil population of El Rosario was more susceptible to insecticides evaluated, with percentages above 74% effectiveness. All insecticides treatments were statistically different to the control.

**Key words:** Susceptibility, insecticides, tolerance, bioassay, biological effectiveness, *Capsicum annuum*, *Anthonomus eugenii*.

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA

## 1.1. INTRODUCCIÓN

México es el principal exportador de chile (*Capsicum annum* L.) para consumo en fresco en el mundo, con una superficie sembrada de 153,565 ha, una producción de 2,782,340 t y una media nacional de 18.71 t ha<sup>-1</sup> en el ciclo agrícola 2015. Los principales estados productores son Chihuahua, Zacatecas, San Luis Potosí y Sinaloa con más de la mitad de la superficie sembrada en el país, se destaca este último como el segundo productor nacional con 601,736 t y primero en rendimiento con 43.56 t ha<sup>-1</sup> y un valor de la producción de más de 3,808 millones de pesos (SIAP, 2017).

La producción de este cultivo se ve seriamente afectada por diversos factores como enfermedades y plagas, de estas últimas el problema principal es el picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano, ya que puede ocasionar pérdidas por más del 75% si no se combate oportunamente. Este insecto es originario de México y constituye una de las plagas más importantes de este cultivo en el país. De la República Mexicana se dispersó al sur de Estados Unidos en los estados de Texas, Nuevo México, Arizona, California, Florida y Georgia, donde se encuentra ampliamente distribuido; muy ocasionalmente se le puede encontrar a latitudes mayores (Riley *et al.*, 1992). Otros países afectados seriamente por este curculiónido son Guatemala, El Salvador, Honduras y Puerto Rico (Pacheco, 1985). El picudo del chile también ataca berenjena, tomatillo, hierbamora y trompillo y si no se combate oportunamente, puede ocasionar la pérdida total de la cosecha, el período crítico de ataque al cultivo ocurre desde el inicio de la floración hasta la cosecha y el daño se observa por la caída prematura de botones florales y frutos inmaduros (Bujanós, 1993).

Para el control del picudo del chile se hace uso exclusivamente de insecticidas químicos; por lo general, las aplicaciones de agroquímicos se realizan a intervalos de 8 a 10 días, y si las infestaciones son severas, este intervalo se reduce a 3 o 4 días (Calvo *et al.*, 1988). Bajo este esquema de combate es probable que se presenten

problemas de resistencia a mediano y a largo plazo en poblaciones de picudo sometidas a aplicaciones continuas de insecticidas.

En Sinaloa, la alta presión de selección con agroquímicos genera las condiciones favorables para que las plagas desarrollen resistencia a insecticidas. En las últimas temporadas se ha manifestado una mayor dificultad para el control de esta plaga con los insecticidas usados convencionalmente; sin embargo, son escasos los trabajos sobre la susceptibilidad de la plaga a dichos insecticidas. A pesar del uso abundante de productos químicos para combatir al picudo del chile, se desconoce la susceptibilidad de esta plaga a los insecticidas empleados para su combate. La información que se genera con este tipo de trabajos es de suma importancia para utilizar los insecticidas de manera racional.

#### **1.1.1. Objetivos**

1. Evaluar la resistencia en poblaciones de picudo del chile de La Cruz de Elota, Culiacán y El Rosario, Sinaloa a insecticidas químicos sintéticos utilizados en el combate de esta plaga.
2. Determinar la  $DL_{50}$  para clorpirifós etil, malatión, oxamil, thiametoxam y zeta-cipermetrina en poblaciones de picudo del chile de La Cruz de Elota, Culiacán y El Rosario, Sinaloa.
3. Calcular la proporción de resistencia desarrollada por el picudo del chile a clorpirifós etil, malatión, oxamil, thiametoxam y zeta-cipermetrina en poblaciones de La Cruz de Elota y Culiacán, Sinaloa.
4. Establecer líneas base para el monitoreo de la resistencia a clorpirifós etil, malatión, oxamil, thiametoxam y zeta-cipermetrina en poblaciones de picudo del chile.
5. Determinar la efectividad de los insecticidas clorpirifós etil, malatión, oxamil, thiametoxam y zeta-cipermetrina y calcular el porcentaje de participación de cada insecticida en el control del picudo del chile.

## 1.2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.2.1. El cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.)

El chile es uno de los cultivos más importantes en México, sus frutos se consumen tanto en fresco como seco para proporcionar color, sabor y aroma a infinidad de platillos, esto lo sitúa entre las principales especias consumidas en el país. México cuenta con la mayor diversidad de esta especie, donde se cultiva prácticamente en todo el territorio, con sistemas de producción y problemáticas muy diversos (Aguilar, 2012).

1.2.1.1. Origen del género *Capsicum*. Todas las especies del género *Capsicum* son originarias de América, la distribución precolombina de este género se extendió, probablemente, desde la zona templada cálida del sur de Sudamérica hasta el borde más meridional de los Estados Unidos (Heiser, 1964). Una hipótesis de las más aceptada sugiere que se originó en Bolivia surcentral, con subsiguiente migración a los Andes y tierras bajas de la Amazonía acompañada por radiación y especiación (McLeod *et al.*, 1982; 1983). El chile es una de las primeras plantas domesticadas en Mesoamérica, con el nombre de *C. annuum* var. *annuum* se reconoce a toda la diversidad domesticada del género *Capsicum* (Pozo *et al.*, 1991; Votava, 2005). Su domesticación primero ocurrió en México, donde se han encontrado vestigios arqueológicos en las cuevas de Ocampo en la sierra de Tamaulipas, en el Valle de Tehuacán en Puebla y en la cueva Guiña Naquitz de Oaxaca entre 8700-5000 a. C., los restos más antiguos de chile se han encontrado en Tehuacán, fechados entre 6500-5500 a. C. (Pickersgill, 1969).

1.2.1.2. Importancia del cultivo de chile. La utilización de los frutos de chile se remonta a los tiempos precolombinos donde se usaba como condimento, también los diferentes tipos de chiles jugaron un papel importante como fuente de vitamina C en las diferentes culturas americanas (Eshbaugh, 1970). Además, de un sinnúmero de usos que le daban nuestros antepasados como medicamento, castigo, moneda, material de tributo, etc. (Long-Solís, 1986).

En la actualidad representa gran importancia económica y social, en 2015 la superficie sembrada en México con chiles fue mayor a las 153 mil hectáreas con una producción superior a 2 millones 700 mil toneladas, con un valor por encima de los 12 mil millones de pesos (SIAP, 2017). Por otro lado, la mano de obra que requiere en su producción, se estima entre 120 a 150 jornales por hectárea (Laborde y Pozo, 1984). Desde que el género fue establecido en 1753 por Linneo, se han descrito alrededor de 33 especies de chile en el mundo, aunque sólo hay cinco especies cultivadas (*C. annuum* L., *C. baccatum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L. y *C. pubescens* Ruiz y Pav.) (Ibiza *et al.*, 2012; Pérez-Castañeda *et al.*, 2015). A excepción del chile habanero (*C. chinense*), el tabasco (*C. frutescens*) y el manzano (*C. pubescens*), prácticamente todas las variedades de chiles en México corresponden a *C. annuum*. En esta especie se encuentran todas las variedades de jalapeños, serranos, pimientos, poblanos, anaheim, de árbol, cascabel, etc. (Torres-Ruiz y Rodríguez-Leyva, 2012; Kraft *et al.*, 2014). El fruto de esta planta es muy apreciado por su estimulante sabor, producto de una combinación de muchas sustancias, principalmente capsicina, la cual confiere el picor a cada variedad de chile, y su consumo y cultivo se han incrementado debido a que es rico en vitaminas (A, C y B6, principalmente), antioxidantes,  $\beta$ -caroteno, flavonoides, anticancerígenos, antimicrobianos, pigmentos, saborizantes, aceites fijos y volátiles, carotenoides, oleorresinas y alcaloides con potencial insecticida (Lui *et al.*, 2013).

### **1.2.2. El picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano**

El picudo o barrenillo del chile *A. eugenii* es el artrópodo plaga más importante del cultivo del chile (*Capsicum spp.*) en América trópic y subtropical. Los adultos se alimentan y ovipositan en brotes terminales, flores y frutos. Las larvas se alimentan y desarrollan dentro de estas estructuras provocando pérdidas importantes en la producción (Toapanta *et al.*, 2005).

1.2.2.1. Origen y distribución. Se considera a México como el sitio probable de origen del picudo del chile, desde donde se dispersó a América Central, el Caribe y el sur de los Estados Unidos (Riley y Sparks, 1995). Fue descrito por Cano y Alcacia de



especímenes colectados en el estado de Guanajuato (Elmore *et al.*, 1934). En la actualidad se encuentra en todo el sur de Estados Unidos, desde Florida a California, se observó por primera vez en Hawai en 1933 y en Puerto Rico en 1982 (Capinera, 2015).

1.2.2.2. Importancia y daños. El picudo del chile es una plaga clave durante la etapa de floración y fructificación en todas las zonas productoras de chile (Toapanta *et al.*, 2005); puede causar pérdidas masivas de frutos, en ocasiones alcanzando el 100% si no se toman medidas de combate (Bujanos, 1993). El daño causado por las larvas se manifiesta en el reducido número de frutos, su caída precoz, la maduración prematura y la producción de frutos deformes (Seal y Schuster, 1995).

El picudo comienza a alimentarse inmediatamente después de emerger del huevecillo, lo hace en yemas florales, flores y frutos; en ausencia de éstos, puede comer hojas tiernas (Elmore *et al.*, 1934). El daño principal es causado por las larvas, las cuales se alimentan dentro de frutos en desarrollo, provocando la aparición de una mancha necrótica que circunda el área donde se encuentran las semillas (Capinera, 2015). Si el ataque es severo se caen las flores, yemas y frutos inmaduros; también puede ocurrir la maduración prematura y la producción de frutos deformes, frecuentemente los frutos atacados presentan agujeros pequeños por donde han salido los adultos (Cambero, 2010).

1.2.2.3. Ubicación taxonómica. La clasificación taxonómica del picudo del chile es: filum artropoda, subfilum mandibulata, clase insecta, orden coleóptera, suborden polifaga, superfamilia curculionoidea, familia curculionidae, subfamilia anthominae, tribu anthomini, género *Anthonomus*, especie *eugenii*, nombre binomial *Anthonomus eugenii* Cano 1894 (Arnett, 1973).

1.2.2.4. Descripción y ciclo de vida. Capinera (2015) indica que una generación se completa en 20 a 30 días, dependiendo del medio ambiente; también señala que, bajo condiciones de insectario, se han producido hasta ocho generaciones en un año, pero es normal de tres a cinco generaciones en la mayoría de las localidades

donde se presenta esta plaga. Los adultos son longevos y con generaciones traslapadas, así que es difícil saber con certeza el número real de generaciones que se producen al año (Riley y King, 1994). El apareamiento y oviposición empiezan a los dos o tres días después de la emergencia del adulto, este insecto tiene un intervalo de acción limitado a áreas donde pueda encontrar hospederas alternantes en ausencia del cultivo de chile, el tiempo y el número de generaciones al año se determinan principalmente por la disponibilidad de hospederas y de la temperatura (Riley y King, 1994). Las hembras ovipositan la mayoría de los huevecillos durante el día y evitan botones florales donde previamente han ovipositado otras hembras, para evitar la competencia entre larvas; prefieren frutos de 1.3 a 5 cm de diámetro (Riley *et al.*, 1992; Coto, 1996).

El adulto mide ente 2.5 y 3.0 mm de largo y de 1.3 a 2.0 mm de ancho, es de color café rojizo recién emergido y después de 2 a 3 días cambia a color negro o gris, su cuerpo está cubierto con una fina pubescencia (escamas) de color amarillo claro, principalmente en el pronoto y élitros (Elmore *et al.*, 1934). La cabeza del insecto se prolonga hacia adelante a manera de un pico largo y curvo (rostrum), en cuyo extremo se encuentran las piezas bucales, éste es más largo que la cabeza y el tórax, tiene una espina sencilla en la mitad de fémur anterior, característica que lo hace distintivo de otras especies (Capinera, 2015). La hembra se diferencia del macho porque tiene el pico más delgado y ligeramente más largo, aunque en general éste es menos puntiagudo y más brillante (Elmore *et al.*, 1934; Saunders *et al.*, 1998). Riley (1992) señala que las hembras depositan seis huevecillos por día y ovipositan un promedio de 340 huevos durante su vida, el periodo de oviposición es más de 30 días en promedio, se encuentran insertados en botones florales y frutos, tardan para eclosionar de tres a cinco días.

El huevecillo es ovalado y mide 0.53 mm de longitud y 0.39 mm de diámetro, recién ovipositado es blanco aperlado y posteriormente cambia a amarillo, el corión es liso aparentemente, brillante, flexible y un poco duro (Capinera, 2015; Torres-Ruiz y Rodríguez-Leyva, 2012).

Las larvas nacen dentro de los órganos fructíferos, alimentándose del polen tierno en el primer caso y de la placenta y semillas del fruto hasta completar su

desarrollo, pasan por tres ínstares en un periodo de 13 a 17 días; el tiempo para el desarrollo de la larva es de 1.7, 2.2 y 8.4 días para el primero, segundo y tercer ínstar, aunque en el último ínstar pasa por una fase de prepupa y requiere de 4.9 días, por lo que la larva únicamente necesita alimento durante 7.4 días (Capinera, 2015; Torres-Ruiz y Rodríguez-Leyva, 2012).

La pupa se encuentra dentro del botón floral o del fruto y requiere de 3 a 6 días para transformarse en adulto, el cual tarda entre 4 horas y 4 días para emerger, se parece al adulto en su forma, excepto que las alas no están completamente desarrollados y presenta setas grandes en el protórax y el abdomen, es de color blanco al inicio, pero con el tiempo se vuelve amarillenta con los ojos marrones, la media de duración de la fase de pupa es de 4.7 días (rango de tres a seis días) (Capinera, 2015).

1.2.2.5. Control químico y Manejo de la Resistencia a Insecticidas. Una parte fundamental en el combate químico de plagas es el Manejo de la Resistencia a Insecticidas (MRI). Éste fue alentado por la creciente documentación de casos de artrópodos resistentes a plaguicidas (Georghiou y Lagunes, 1991) y el inicio de una base de datos interactiva del tema (Whalon *et al.*, 2008). El MRI consiste de estrategias que tienen por objetivo conservar la susceptibilidad de los artrópodos plaga a los plaguicidas disponibles, y mantener la efectividad de estos insumos, al prevenir o retrasar el desarrollo de razas resistentes para evitar el incremento de la dosis de campo requerida y, por tanto, no aumentar los costos de combate ni los riesgos a la salud o al ambiente (Lagunes-Tejeda *et al.*, 2009).

El uso intensivo de insecticidas químicos convencionales es la práctica más común para controlar al picudo del chile en México, la aplicación es dirigida sólo a los adultos (García-Nevárez *et al.*, 2012). El manejo inadecuado de este insecto con plaguicidas eleva los costos de producción por no aplicarlos a tiempo e incrementa el número de aplicaciones hasta 15 por ciclo (Pacheco, 1985). Además, el uso continuo de una sola clase de insecticidas puede generar resistencia a dichos agroquímicos e incrementar la contaminación ambiental (CATIE, 1993). Se han estudiado algunos insecticidas convencionales para evaluar susceptibilidad y niveles de resistencia

(Velasco, 1969; Rolston, 1977; Quiñones y Flores, 1991; López, 1996; Servín *et al.*, 2000, 2002, 2008). También cierta tendencia ha sido aplicar plaguicidas que tienen un efecto de control sobre el insecto plaga de interés y sin efecto perjudicial a enemigos naturales como la azadiractina o bien llamados insecticidas biorracionales (Rosell *et al.*, 2008; García-Nevárez *et al.*, 2012; Addeso *et al.*, 2014).

Los insecticidas autorizados para el combate del picudo del chile en México son: azinfos metil, cyflutrin, betacyflutrin, carbaril, paratión metil, clorpirifós etil, diflubenzuron, fenvalerato, lambda-cihalotrina, malatión, cipermetrina, metomilo, oxamil, thiaclopid y thiametoxam (Cofepris, 2016), por lo que se sugiere hacer rotación, intercalando los insecticidas según su modo de acción (IRAC, 2015). En la actualidad, los insecticidas neonicotinoides, incluyendo thiametoxam, se usan ampliamente para el control del picudo del chile, en rotación con otros insecticidas (Mossler *et al.*, 2012).

García-Nevares *et al.* (2012) evaluaron la eficacia de insecticidas contra el picudo del chile y concluyeron que thiametoxam, clorpirifós y lambda-cihalotrina mantuvieron las poblaciones de la plaga a un nivel bajo por un periodo de cinco días, pero sólo con el primero se mantuvo a la plaga por debajo del umbral económico. Así mismo, estos autores indican que las rotaciones de spinoteram-clorpirifós-clorpirifós-thiametoxam y thiametoxam-clorpirifós-clorpirifós-thiametoxam mantuvieron bajas las poblaciones del picudo del chile y que malatión tuvo una efectividad baja sobre este insecto. En una serie de trabajos realizados por Seal y Schuster (1995) encontraron que oxamil y fipronil redujeron significativamente el daño ocasionado por el picudo del chile, pero que se dificulta el control de esta plaga una vez que se establece la población en el campo, por lo tanto es muy importante un monitoreo continuo para iniciar un programa de aplicaciones a tiempo, también señalan que tratamientos biológicos y botánicos son inefectivos e inconsistentes y se llega hasta 50% de daño bajo fuertes infestaciones. Addeso *et al.* (2014) realizaron pruebas de campo con productos orgánicos (Tierra de diatomeas y Caolín), una rotación estándar de los pesticidas Actara y Vydate y un control no tratado; el único tratamiento donde se incrementó el rendimiento comercializable fue la rotación estándar de pesticidas, en el cual se duplicó el rendimiento por planta en

comparación con el tratamiento no tratado (control), pero el rendimiento no fue diferente al de las parcelas tratadas con arcilla de caolín y tierra diatomeas. Los mismos autores indican que, aunque los productos orgánicos no incrementaron significativamente el rendimiento, se disminuyó el daño total, lo que indica su posible utilidad en combinación con insecticidas convencionales o en baja presión de la población en aplicaciones tempranas y después de las prácticas culturales apropiadas, como parte de un programa de manejo integrado de plagas. Avendaño *et al.* (2015) realizaron estudios para evaluar la eficacia de insecticidas contra picudo del chile en Elota, El Rosario y Culiacán, Sinaloa; los niveles de control más bajos se alcanzaron en la población de picudos de Elota, al registrar porcentajes de control inferiores al 50 % para todos los insecticidas. Los autores señalan que los productos fueron más efectivos en la población de El Rosario, donde se obtuvieron controles superiores al 70%; en Culiacán, los más efectivos fueron oxamil, zeta-cipermetrina y thiametoxam con controles de 80%, 66% y 66%, respectivamente. Sólo en la población de El Rosario se logró mantener la población por debajo del umbral económico después de las aplicaciones de insecticidas.

1.2.2.6. Susceptibilidad del picudo del chile a insecticidas. La resistencia a insecticidas se define como un cambio heredable en la sensibilidad de una población de una plaga que se refleja en repetidos fallos de eficacia de un producto al ser usado de acuerdo con las recomendaciones de la etiqueta para esa plaga; a esta situación puede llegarse por el 'uso abusivo' o 'mal uso' del insecticida en el control de una plaga que resulta en la selección de formas resistentes y la consiguiente evolución de las poblaciones que se convierten en resistentes (IRAC, 2015).

Quiñónez y Flores (1991) realizaron un trabajo para determinar los niveles de susceptibilidad del barrenillo del chile a varios insecticidas químicos sintéticos en la localidad de Ojinaga, Chihuahua. Estos investigadores señalan que las poblaciones del insecto no estaban sometidas a la presión de las aplicaciones de agroquímicos, por lo tanto, los resultados obtenidos pueden considerarse como los de una población susceptible y servir como punto de partida o tomarse como una línea base

para posteriores investigaciones: azinfos metil (0.031), endosulfan (3.352), fenvalerato (0.076), malatión (0.288) y paration metil (0.311).

López (1996) realizó un bioensayo con el objetivo de determinar la susceptibilidad del barrenillo del chile en dos poblaciones (Río Verde y El Refugio, San Luis Potosí) a los insecticidas azinfos metil, endosulfan, fenvalerato, malatión y paration metil. Los bioensayos se realizaron por el método de aplicación tópica en adultos de uno a tres días de edad, los resultados que obtuvieron indican que las dos poblaciones de campo son susceptibles a los insecticidas evaluados. En la localidad de Río Verde, la población de insectos toleró una  $DL_{50}$  de 0.019, 1.517, 0.147, 0.560 y 0.159  $\mu\text{g adulto}^{-1}$  de azinfos metil, endosulfan, fenvalerato, malatión y paration metil, respectivamente; mientras que las poblaciones de picudos colectadas en Cd. Fernández, necesitaron de 0.031, 1.742, 0.159, 0.551 y 0.169  $\mu\text{g adulto}^{-1}$ , respectivamente, para alcanzar la  $DL_{50}$ , valores son muy similares a los reportados por Quiñónez y Flores (1991) para una colonia susceptible.

Servín y Aguilar (2000) realizaron bioensayos toxicológicos contra picudo del chile en Baja California Sur, con seis insecticidas de diferente grupo toxicológico, que son utilizados ampliamente en esa región; este trabajo se realizó con la técnica de exposición residual, impregnando 1 ml de solución de acetona y el tóxico en diferentes concentraciones, en frascos de vidrio de 20 ml. Los insecticidas evaluados fueron carbaril, endosulfan, metamidofos, azinfos metil, oxamil y metomil. En este trabajo se concluyó que la población de picudos colectada en campo y que estuvo bajo presión de selección por insecticidas presentó cierta tolerancia a carbaril, ya que se necesitaron 3565.7  $\mu\text{g ml}^{-1}$  para alcanzar la  $CL_{50}$ , seguido por endosulfan y metamidofos con una  $CL_{50}$  de 131.8 y 102.6  $\mu\text{g ml}^{-1}$ , respectivamente; la población fue más susceptible al azinfos metil, oxamil y metomil, cuyas  $CL_{50}$  fueron de 42.8, 18.9 y 16.1  $\mu\text{g ml}^{-1}$ , respectivamente, situación que, según los autores, coincide con el historial de aplicaciones de insecticidas en la zona de estudio.

Guerrero *et al.* (2000) realizaron un trabajo para determinar los niveles de susceptibilidad o de resistencia del picudo del chile a insecticidas de cuatro grupos toxicológicos en cinco regiones del país (San Luis de la Paz y Romita, Guanajuato; Sapioriz, Durango; Ramos Arizpe, Coahuila y Los Mochis, Sinaloa). El bioensayo se

realizó utilizando la técnica de película residual en tubos de ensayo de 24 x 150 mm, usando acetona como solvente. En términos generales y a nivel de grupo toxicológico, los fosforados fueron los más eficientes para el combate del picudo del chile; el paration metil se muestra como el producto más tóxico por los valores bajos de CL<sub>50</sub> encontrados. Seguido de este grupo se encuentran los carbamatos, en el que metomilo muestra excelentes resultados en la mayoría de la áreas en estudio. Posteriormente se encuentran el endosulfan y los piretroides permetrina y deltametrina, con resultados variables.

Avendaño *et al.* (2001) establecieron un trabajo en Culiacán, Sinaloa para determinar la susceptibilidad del picudo del chile a insecticidas que se emplean comúnmente para su combate; los bioensayos de laboratorio se realizaron mediante el método de aplicación topical en adultos de uno a tres días de emergidos del fruto. Los resultados indicaron que los productos más tóxicos a la población de picudos fueron cyflutrin, clorpirifós etil y azinfos metil. Así mismo, esta colonia fue más tolerante a los insecticidas azinfos metil y malatión, y más susceptible a endosulfan y paratión metil comparada con los resultados obtenidos en una colonia susceptible; además, en la población colectada en una parcela donde se sometió a presión de selección con cyflutrin, se necesitó dos veces la dosis para alcanzar la DL<sub>50</sub> de 0.065 µg adulto<sup>-1</sup>, comparada con 0.035 µg adulto<sup>-1</sup> obtenida en la parcela sin tratamiento.

Avendaño *et al.* (2005) realizaron un estudio toxicológico para determinar si poblaciones de picudos colectadas en campos de Elota, Culiacán y Angostura, Sinaloa manifestaban tolerancia y/o resistencia comparadas con colonias susceptibles previamente evaluadas; los resultados indican que la población de picudos de Elota es ligeramente más tolerante que las poblaciones de Culiacán y Angostura; las dosis letales medias para los diferentes productos en la zona de Elota fueron: cyflutrin (0.117), azinfos metil (0.083), malatión (1.838), clorpirifós etil (0.069) y carbaril (0.979).

En un trabajo realizado por Aispuro (2005), señala que la respuesta al cyflutrin, en tres poblaciones de picudos del chile colectados en Campo Ceuta, Caimanes y Tayoltita, fue bastante heterogénea y con valores de CL<sub>50</sub> muy altos (1 484 756, 63

318 y 42200  $\mu\text{g ml}^{-1}$ , respectivamente), por lo que se recomienda disminuir el uso de este producto en los campos mencionados.

1.2.2.7. Línea base. Lagunes-Tejeda *et al.* (2009) indican que, en las poblaciones de insectos hay intervalos normales de respuesta a cada insecticida; esto se conoce como nivel de susceptibilidad base o línea base y representa la respuesta natural a estos tóxicos en ausencia de la expresión del gen de resistencia. Lagunes y Villanueva (1999) señalan que, para determinar si una población de campo es resistente o susceptible, es necesario el conocimiento de la susceptibilidad base, la cual se encontrará en una población que no ha sido expuesta previamente a insecticidas y servirá como punto de referencia para el análisis de futuros trabajos.

Según expertos de la FAO (1979) una población de insectos se considera resistente cuando la  $DL_{50}$  calculada para esa población es dos veces mayor a la  $DL_{99}$  de una colonia susceptible. Investigadores de Ciba-Geigy (1991) señalan que, con los valores del factor de resistencia (FR), ésta se puede catalogar de la siguiente manera: de 1 a 3x, la población es susceptible; de 4 a 10x, es tolerante; más de 10x, presenta una resistencia incipiente; más de 100x, presenta una resistencia acentuada y más de 1000x, se considera alta resistencia. A su vez, Young-Joon *et al.* (2004) consideran a la resistencia como baja si el FR es menor a 10x; resistencia moderada si los valores están entre 10 y 40x; resistencia alta si se alcanzan valores de 41 a 160x y resistencia extremadamente alta si los valores exceden los 160x.

Dhingra y Sarup (1990) indican que la respuesta de un bioensayo, en que se determina la línea dosis-mortalidad, se debe comparar a nivel de la  $DL_{50}$  con resultados previos de colonias susceptibles, utilizando la proporción de resistencia (XR), la cual es el resultado de dividir la  $DL_{50}$  de la población problema entre la  $DL_{50}$  de la población susceptible.

Quiñones y Flores (1991) proponen como líneas base las  $DL_{50}$  de 0.035, 0.052 y 0.175  $\mu\text{g adulto}^{-1}$ , para cyflutrin, clorpirifós etil y carbaril, respectivamente, para una población de picudos del chile en Ojinaga, Chihuahua.

Avendaño-Meza *et al.* (2014) proponen como líneas base las  $DL_{50}$  de 0.271, 0.064 y 0.803  $\mu\text{g adulto}^{-1}$  para oxamil, thiametoxam y zeta-cipermetrina,



respectivamente, como referencia para futuros trabajos de monitoreo de la resistencia a picudo del chile en Culiacán, Sinaloa.

Caballero *et al.* (2015) realizaron un bioensayo para determinar la toxicidad base de thiametoxam y ciantraniprol en adultos de picudo del chile, mediante un método de bioensayo sistémico; usaron una cepa de insectos susceptible criada en laboratorio. Los resultados demostraron que ambos insecticidas inhibieron la alimentación de la plaga. La  $CL_{50}$ ,  $CL_{95}$  y el valor de la pendiente fueron de 7.06 mg i.a.  $L^{-1}$ , 195.2 mg i.a.  $L^{-1}$  y 1.14 (error estandar=0.132) para ciantraniliprol y 0.53 mg i.a.  $L^{-1}$ , 1.91 mg i.a.  $L^{-1}$  y 2.93 (error estandar=0.435) para thiametoxam, después de cinco días de exposición.

1.2.2.8. Control biológico. Desde el punto de vista ecológico, el control biológico es parte del control natural de las poblaciones y se puede definir como la acción de parásitos, predadores o patógenos en el mantenimiento de la densidad poblacional de otros organismos a niveles menores de los que podrían ocurrir en su ausencia. Desde el punto de vista agronómico, es una herramienta fundamental del MIP de los cultivos, dicha tecnología está basada en el conocimiento de la biología de las plagas y los organismos benéficos y su dinámica poblacional a través del monitoreo. El control biológico requiere un enfoque preventivo más que reactivo y su aplicación exitosa favorece la disminución en el uso de plaguicidas que en algunos casos pueden seleccionar resistencia en las plagas, provocar contaminación ambiental, además de toxicidad en los cultivos y sus productos (Torres-Ruiz y Rodríguez-Leyva, 2012).

Wilson (1986) realizó estudios de campo en Florida sobre el control biológico del picudo del chile, únicamente se detectó a *Catolacus hunteri* parasitando a la plaga. Esta especie fue encontrada en el interior de flores de chile tipo bell atacando larvas de último instar, en las que causó un 5% de parasitismo.

Rodríguez-Leyva *et al.* (2007) encontraron varias especies de parasitoides del picudo del chile pertenecientes a siete géneros: *Triaspis eugenii* Wharton & López-Martínez, *Urosigalphus* sp., *Bracon* spp., *Catolaccus hunteri* Crawford, *Eurytoma* spp., *Eupelmus* sp. y *Ceratoneura* sp. De éstos, sólo el último se reporta por primera

vez para esta plaga. *Catolaccus hunteri*, *T. eugenii* y *Urosigalphus* sp. representaron 96% del material colectado. *T. eugenii* se colectó sólo en Nayarit, y *Urosigalphus* sp. predominó en Oaxaca. *C. hunteri* se encontró en todos los sitios de colecta. La biología de los bráconidos *T. eugenii* y *Urosigalphus* sp. podría ofrecer algunas ventajas para el control biológico del picudo del chile debido a su particular hábito de atacar el huevo del huésped y presumiblemente a su especificidad. Riley *et al.* (1992) documentaron el parasitismo en estados inmaduros de *A. eugenii* por *C. hunteri* en campos de Florida en chile bell pepper. Pérez (2006) documentó cinco especies de himenópteros parasitoides de *A. eugenii* asociados al cultivo de chile; estos fueron *Pteromalus* (= *Catolaccus*) *hunteri*, dos especies de *Eurytoma*, *Eupelmus* sp y *Telonomus* sp; el mayor porcentaje de parasitismo por fecha de colecta se registró con *P. hunteri* y fue de 8.64 en el valle de Culiacán, en marzo de 2003, y 9.7 en el municipio de Elota en junio del mismo año; el resto de los parasitoides ejercieron un parasitismo inferior al 1.5% en ambas regiones, excepto *Eurytoma* sp. que tuvo 5.5% en el municipio de Elota.

También algunos hongos entomopatógenos se reportan atacando al picudo, incluso algunos de ellos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* se han utilizado en algunos casos como herramienta de control dentro del MIP (Torres-Ruiz y Rodríguez-Leyva, 2012).

Como productos biorracionales se encuentran en el mercado repelentes a base de extractos vegetales (ajo, nim, etc.) y animal (aceite de pescado), que son utilizados contra esta plaga. Se recomienda evaluar la eficiencia de estos productos y valorar la participación que tienen en los programas de manejo integrado, puesto que en los estudios hechos en Sinaloa, la eficiencia contra esta plaga es muy limitada e inconsistente (Gómez, 2000; Corrales, 2002; Cortez-Mondaca y Cabanillas-Duran, 2005). En un experimento realizado por García-Nevárez *et al.* (2012) concluyó que la azadiractina no tuvo impacto sobre las poblaciones de picudo en los días observados después de la aplicación, ya que no fue estadísticamente diferente al testigo. Sin embargo, Ruiz *et al.* (2009) concluyen que la azadiractina es una buena alternativa en el control de *A. eugenii*, y podría sustituir el uso de oxamil y neonicotíoides cuando las poblaciones de la plaga no son altas, minimizando de esta manera la presión de

selección para resistencia a estos plaguicidas. A su vez, Adesso *et al.* (2014) encontraron que, con los productos orgánicos (arcilla de caolín, tierra de diatomeas, neem y extracto de *Chenopodium ambrosioides*) no se incrementó significativamente el rendimiento del cultivo, pero su uso disminuyó el daño total, lo que indica su posible utilidad en combinación con plaguicidas químicos convencionales o de bajo impacto ambiental bajo una estrategia de manejo integrado de plagas.

### **1.2.3. El bioensayo**

Rodríguez *et al.* (2009) definen bioensayo como cualquier evaluación que involucra organismos vivos, es usado en la evaluación de insecticidas en laboratorio y es fundamental para la búsqueda de nuevas moléculas con propiedades insecticidas, así como en la evaluación y detección periódica de la resistencia. Por su parte, Robertson *et al.* (2007) señalan que el bioensayo es un experimento en el cual un organismo vivo es usado como sujeto de prueba, donde se aplica un estímulo, se produce una respuesta y esta es medida. Lagunes y Villanueva (1999) indican que un bioensayo es cualquier método por medio del cual se mide alguna propiedad de una sustancia o un material en términos de la respuesta biológica que produce.

Finney (1977) señala que los bioensayos son la medición de la potencia de cualquier estímulo físico, químico, biológico o fisiológico, por medio de las reacciones que dicho estímulo produce sobre la materia viviente. Asimismo, señala que el bioensayo es utilizado en la valoración de la potencia de vitaminas, drogas, tóxicos, etc., mediante respuestas producidas en los organismos, cuando la dosis de dichos productos son aplicados a los mismos, en forma experimental.

En un sentido amplio, los ensayos biológicos son herramientas de determinación y análisis de la toxicidad de un agente, capacidad que es medida a través de las respuestas generadas en los organismos o sistemas vivientes, obteniendo una relación dosis-respuesta. El efecto se puede evaluar a diferentes niveles (subcelular, enzimático, morfológico, fisiológico, histológico, sistémico, poblacional o de la comunidad) y clasificarse en cuantal (cantidad de organismos afectados) o gradual (grado de alteración) (Ronco *et al.*, 2004).

El principal objetivo del bioensayo es la estimación del nivel de estímulo necesario para obtener una respuesta en determinada proporción de individuos, por razones estadísticas el problema se reduce a la determinación del estímulo necesario para obtener una respuesta del 50% de los organismos de prueba, este valor se denomina “Dosis Letal media” ( $DL_{50}$ ), es una expresión cuantitativa de la tolerancia de una especie o raza en particular a un insecticida bajo ciertas condiciones experimentales y una medida de la toxicidad del insecticida usado; a mayor  $DL_{50}$  menor toxicidad y viceversa (Lagunes y Vázquez, 1994).

La respuesta que se observe en un bioensayo está en función de las dosis utilizadas, temperatura, duración de la exposición al tóxico y condición fisiológica del insecto (edad, sexo, instar, peso, etc.). Para que los datos sean confiables, todas las variables deben ser estandarizadas, de modo que se exprese el efecto de la dosis aplicada. Antes de realizar un bioensayo, es conveniente investigar los métodos internacionalmente reconocidos para tal efecto y seguir la metodología en cuanto a la forma de exposición, tamaño de muestra, condiciones fisiológicas de los insectos y tiempo de exposición, entre otros (Rodríguez *et al.*, 2009).

Lagunes y Villanueva (1999) y Rodríguez *et al.* (2009) señalan que el método de aplicación tópica o localizada es el más empleado, y consiste en depositar, por medio de una microjeringa, una cantidad conocida del tóxico directamente sobre el cuerpo del insecto, para ello se puede utilizar un microaplicador milimétrico graduado, de tal forma que pueda liberar un microlitro de la dilución por cada graduación. Los sitios de aplicación pueden variar dependiendo de la especie utilizada, aunque se recomienda realizar la aplicación en los sitios del insecto que están cercanos al cerebro. La preparación de la solución del insecticida se lleva a cabo disolviendo el producto en un solvente universal no tóxico y volátil como la acetona, normalmente son suficientes de 24 a 48 horas para determinar la mortalidad obtenida. La  $DL_{50}$  es la expresión utilizada para evaluar la toxicidad de los productos que se aplican mediante este método.

#### **1.2.4. Análisis Probit**

El análisis Probit es un procedimiento estadístico para medir la relación entre la intensidad de un estímulo y la proporción de casos que presentan una cierta

respuesta a dicho estímulo, es útil para las situaciones en las que se dispone de una respuesta dicotómica que se piensa puede estar influenciada o causada por los niveles de alguna variable independiente, y es particularmente adecuada para datos experimentales. Este procedimiento permitirá estimar la intensidad necesaria para que un estímulo llegue a inducir una determinada proporción de respuestas, como la dosis efectiva para la mediana. Para cada valor de la variable independiente, la variable de respuesta debe contener el recuento del número de casos que presenta la respuesta de interés y que toma dichos valores de la variable independiente, y la variable del total observado debe ser el recuento del número total de casos con dichos valores para la variable independiente. La variable de factor debe ser categórica, codificada como enteros (IBM Knowledge Center)<sup>1</sup>.

La idea de probit fue publicada por Bliss (1934) para analizar datos como el porcentaje de plaga eliminada por un pesticida, propuso transformar el porcentaje eliminado en una "unidad de probabilidad" (o "probit") que estaría linealmente relacionada con la definición moderna (él la definió arbitrariamente como igual a 0 para 0,0001 y 10 para 0,9999). Incluyó una tabla para ayudar a otros investigadores a convertir sus porcentajes eliminados a su probit, con la cual podrían dibujar el logaritmo de la dosis y obtener una línea más o menos recta. El llamado modelo probit es todavía importante en toxicología, así como en otros campos. La aproximación se justifica, en particular, si la variación de respuesta puede racionalizarse como una distribución lognormal de tolerancias entre los sujetos de prueba, donde la tolerancia de un sujeto particular es justo la dosis suficiente para la respuesta de interés.

El método introducido por Bliss fue transcrito en un importante texto de aplicaciones toxicológicas por Finney (1977). Las tablas de valores de Finney pueden derivarse de probits, añadiendo cinco. La definición original de un probit (añadiendo cinco) pretendía, en principio, evitar el trabajo con probits negativos. Collet (1991) señala que esta definición se usa todavía, pero en la mayoría de paquetes de software estadístico en los cuales se refiere como Análisis Probit, los probits se definen sin la suma de cinco. Debería observarse que la metodología

---

<sup>1</sup> [http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSLVMB\\_22.0.0/com.ibm.spss.statistics.help/spss/regression/idh\\_prob.htm](http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSLVMB_22.0.0/com.ibm.spss.statistics.help/spss/regression/idh_prob.htm)

probit, incluyendo la optimización numérica para ajustarse a las funciones probit, fue introducida antes de la popularización de la computación electrónica. Cuando se usan tablas, es conveniente tener probits uniformemente positivos.

Probit es una palabra que proviene de la contracción *probability unit*, a pesar de ello, no se trata de unidades de probabilidad, sino unidades de desviación estándar incrementadas en cinco, con la finalidad de evitar números negativos. Los resultados del análisis Probit se expresan como la concentración o el tiempo requerido para matar a una determinada proporción de los insectos de prueba. Esta transformación asume que la respuesta de los individuos se distribuye de forma normal y corresponde la curva de respuesta de una sigmoidea o función de distribución normal acumulativa. Esta curva normal se diferencia de la tradicionalmente usada en que tiene una media de 5 y no de 0, valor que corresponde a un umbral proporcional de respuesta de 50%. Para obtener las líneas de respuesta Log dosis-Probit, existen varios programas estadísticos que contienen este tipo de análisis: SAS, Minitab, Raymond, Polo PC, etc. (Rodríguez *et al.* 2009; Robertson *et al.*, 2007).

Una vez que se han realizado todas las transformaciones pertinentes, se debe hacer un ajuste de regresión lineal ( $y=\beta_0+\beta_1x$ ) entre los logaritmos del estímulo y las unidades Probit de la respuesta, este ajuste recibe el nombre genérico de línea dosis-respuesta (Ldp) (Robertson *et al.*, 2007).

Hubert (1980) consigna 10 métodos mediante los que es posible determinar la Ldp, el más utilizado es el método de máxima verosimilitud, el cual se define como un procedimiento iterativo de regresión compensada. Esa compensación marca la diferencia entre este procedimiento y el análisis de regresión lineal simple.

### **1.2.5. Información generada por el análisis Probit**

La ley de Weber y Fechner señala que el cambio en magnitud o intensidad de una respuesta biológica es proporcional al logaritmo del estímulo y no al cambio aritmético del mismo. Por lo tanto, las concentraciones a utilizar en el bioensayo deberán estar espaciadas logarítmicamente y cubrir lo más uniformemente posible

todo el rango de respuesta biológica desde cero hasta 100% (Fontes y Fontes, 1994).

1.2.5.1. Prueba de bondad de ajuste. Una vez que se ha determinado la ecuación de la línea de regresión, se realiza un análisis de “Chi” cuadrada ( $\chi^2$ ) como estimador de la “bondad” del ajuste al modelo lineal. Si el valor de la  $\chi^2$  observado es mayor al valor tabulado, los datos no se ajustan a una línea recta y es un indicativo de fallas en la manipulación metodológica, o bien, no existe tal recta, debido a la heterogeneidad genética de los individuos en la muestra en su respuesta al tóxico, las medidas de bondad de ajuste, en general, resumen la discrepancia entre los valores observados y los que valores esperados en el modelo de estudio (Plackett, 1983).

1.2.5.2. Pendiente de la línea de regresión. Representa la proporción de cambio de Y (respuesta) asociado con una unidad de cambio de la variable independiente X (estímulo). A mayor pendiente, la línea dosis-Probit será más vertical; lo cual indica que hay menor variabilidad en la respuesta al insecticida, es decir, que en un rango de concentraciones muy pequeño se encuentra el cero y el 100% de respuesta (Rodríguez *et al.* 2009; Robertson *et al.*, 2007).

1.2.5.3. Límites fiduciales. Los límites fiduciales o Intervalos de confianza son los rangos de valores entre los cuales existe la probabilidad de encontrar las DL deseadas, generalmente se estiman con un valor de probabilidad de 0.95 o del 95%. Estos límites se estrechan a nivel de la  $DL_{50}$  y se van ensanchando tanto hacia valores mayores como hacia valores menores de mortalidad, si los límites de confianza de dos líneas se traslapan, significa que éstas no son significativamente diferentes (Molina, 2013).

## **CAPÍTULO 2. RESISTENCIA A INSECTICIDAS EN TRES POBLACIONES DE PICUDO DEL CHILE *Anthonomus eugenii* CANO EN EL ESTADO DE SINALOA, MÉXICO**

### **2.1. INTRODUCCIÓN**

El picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) es una plaga clave durante la etapa de floración y fructificación del cultivo de chile en todas las zonas productoras (Jiménez, 2004); ha sido reportado en el sur de los Estados Unidos por Elmore *et al.* (1934), Riley y King (1994) y Toapanta *et al.* (2005), en México por Laborde y Pozo (1984) y Quiñonez (1986), en América Central y en el Caribe por Abreu y Cruz (1985) y Andrews *et al.* (1986). Recientemente se detectó y erradicó de invernaderos en Países Bajos (Van deer Gaag y Loomans, 2013). También se observó por primera vez en Italia y la región del Mediterráneo, atacando plantas de chile dulce en campo e invernaderos de la región costera de Lazio (Speranza *et al.*, 2014). Puede causar pérdidas masivas de frutos que, en ocasiones, alcanzan el 100% si no se toman medidas de combate. El daño causado por las larvas se manifiesta en el reducido número de frutos, su caída precoz, la maduración prematura y la producción de frutos deformes. Actualmente, la medida principal de control es la aplicación de insecticidas químico-sintéticos que se hace cuando el monitoreo de adultos indica que es necesario (Gastélum *et al.*, 2009). Se sospecha que esta plaga está desarrollando resistencia en ciertas zonas productoras (López, 1996). Lagunes-Tejeda *et al.* (2009) indican que para determinar si una población de campo es resistente o susceptible, es necesario el conocimiento de la susceptibilidad base, la cual se encontrará en una población que no ha sido expuesta previamente a insecticidas y que servirá como punto de referencia para el análisis de futuros trabajos. Expertos de la FAO (1979) consideran que una población de insectos es resistente cuando la  $DL_{50}$  calculada para esa población es dos veces mayor a la  $DL_{99}$  de una colonia susceptible. Investigadores de Ciba-Geigy (1991) señalan que, con los valores del factor de resistencia (FR), ésta se puede catalogar de la siguiente manera: de 1 a 3x, la población es susceptible; de 4 a 10x, es tolerante; más de 10x,



presenta una resistencia incipiente; más de 100x, presenta una resistencia acentuada y más de 1000x, se considera alta resistencia. A su vez, Young-Joon *et al.* (2004) consideran a la resistencia como baja si el FR es menor a 10x; resistencia moderada si los valores están entre 10 y 40x; resistencia alta si se alcanzan valores de 41 a 160x y resistencia extremadamente alta si los valores exceden los 160x. Quiñónez y Flores (1991) realizaron un trabajo para determinar los niveles de susceptibilidad del barrenillo del chile a varios insecticidas en la localidad de Ojinaga, Chihuahua y señalaron que las poblaciones del insecto no están sometidas a la presión de las aplicaciones de agroquímicos, por lo tanto, los resultados obtenidos se consideran de una población susceptible y sirven de línea base para posteriores investigaciones. Avendaño *et al.* (2005) realizaron estudios toxicológicos para determinar si poblaciones de picudos colectadas en campos de La Cruz de Elota, Culiacán y Angostura, en el estado de Sinaloa, manifiestan tolerancia y/o resistencia, comparadas con colonias susceptibles previamente evaluadas. Los resultados indican que la población de picudos de La Cruz de Elota es ligeramente más tolerante que las poblaciones de Culiacán y Angostura. Servín y Aguilar (2000) y Servin *et al.* (2008) encontraron resistencia a carbaril y tolerancia a otros insecticidas organofosforados en poblaciones de picudo del chile de Baja California Sur. En Sinaloa, la alta presión de selección con agroquímicos genera las condiciones idóneas para que las plagas desarrollen resistencia a insecticidas. Sin embargo, a pesar del uso abundante de productos químicos para combatir al picudo del chile, se desconoce la susceptibilidad de esta plaga a los insecticidas empleados para su combate. Esta información es muy importante para utilizar los plaguicidas de manera racional. Por lo anterior, y para aportar datos necesarios que enriquezcan este tópico, se realizó el presente trabajo cuyos objetivos principales fueron determinar la dosis letal media (DL<sub>50</sub>) de insecticidas químico-sintéticos en adultos de picudo del chile y comparar la susceptibilidad a insecticidas en colonias de picudo del chile colectadas en campos de La Cruz de Elota, Culiacán y El Rosario, Sinaloa, así como establecer líneas base que sirvan como referencia para el monitoreo de la resistencia a los insecticidas malatión, clorpirifós etil, oxamil, thiametoxam y zeta-cipermetrina.

## 2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

De diciembre de 2013 a junio de 2014 se colectaron frutos de chile atacados por el *A. eugenii* en plantaciones comerciales de Culiacán (24°40' N, 107°27' O) y La Cruz de Elota (24°0' N, 106°54' O) y en una parcela ejidal de El Rosario (23°1' N, 105°57' O) en el estado de Sinaloa, México. Los frutos se llevaron al laboratorio de toxicología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, donde se lavaron y desinfectaron superficialmente con hipoclorito de sodio al 0.1% y se colocaron en recipientes de medio litro de capacidad cubiertos con malla, para esperar la emergencia de los adultos y facilitar su colecta. Una vez que emergieron los adultos, se procedió a hacer los bioensayos correspondientes para determinar la  $DL_{50}$  de los insecticidas. Los productos que se evaluaron en el bioensayo fueron clorpirifós etil y malatión (organofosforados), oxamil (carbamato), zeta-cipermetrina (piretroide) y thiametoxam (neonicotinoide). Las soluciones se prepararon en el laboratorio a las concentraciones correspondientes a partir de material técnico de cada insecticida, excepto thiametoxam que se preparó a partir de material comercial. Las preparaciones se hicieron en frascos de 20 ml con tapa para su cierre hermético y se protegieron de la luz para evitar la fotodegradación del producto. A partir de las soluciones madre se prepararon diluciones seriadas en proporción logarítmica que consistieron en medir 1 ml de la solución madre (10%) y aforar a 10 ml con acetona para obtener la solución al 1% y a partir de ésta preparar, mediante el mismo procedimiento, la dilución al 0,1%, hasta obtener la concentración de  $1 \times 10^{-5}$  % para determinar la ventana biológica de cada producto, que es el intervalo de respuesta del tóxico desde el 0% al 100% de mortalidad. A partir de estos datos se determinaron las dosis intermedias mediante la fórmula  $C_1V_1=C_2V_2$ , donde  $C_1$  es concentración inicial,  $V_1$  es volumen inicial,  $C_2$  es concentración final y  $V_2$  es volumen final; con estas diluciones se realizaron los bioensayos definitivos para determinar la  $DL_{50}$  y  $DL_{95}$  de cada insecticida (Lagunes y Vázquez, 1994). Los bioensayos se realizaron mediante el método de aplicación tópica que consiste en aplicar 1  $\mu$ l de la solución insecticida-solvente en una región determinada del cuerpo del insecto (FAO, 1979, Lagunes y Vázquez, 1994, Lagunes y Villanueva, 1999). Todas las pruebas se realizaron bajo condiciones ambientales en el laboratorio. Se trataron adultos de

picudo del chile de uno a tres días de emergidos del fruto, para lo cual se recolectaron cada tres días y se seleccionaron por tamaño, sin tomar en cuenta el sexo. Se les aplicó sobre el pronoto 1  $\mu$ l de solución de las dosis previamente preparadas mediante una microjeringa Hamilton® adaptada a un repetidor manual que, en conjunto, tienen capacidad de liberar 1  $\mu$ l por cada graduación. Los insectos se anestesiaron con CO<sub>2</sub> para facilitar su manejo durante la manipulación en el laboratorio. Posterior a la aplicación del insecticida, los picudos se pasaron a vasos de plástico, donde se colocaron frutos de chile como sustrato alimenticio para que la mortalidad no ocurra por inanición. Por cada dosis se trataron 10 adultos, se realizaron cuatro repeticiones en días diferentes. Para cada insecticida se emplearon de seis a nueve dosis, se incluyó la dosis cero (testigo) donde sólo se aplicó acetona. Las lecturas de mortalidad se tomaron a las 24 horas después de la aplicación. El criterio que se tomó para considerar muerto a los picudos fue que se mantuvieran inmóviles, en posición dorsal o lateral, o que presentaran movimientos anormales y no reaccionaran al presionarle el rostrum con una pinza (Servín *et al.*, 2008). El porcentaje de mortalidad fue corregido con la ecuación de Abbott (Abbott, 1925).

Para determinar si los insectos colectados en campos de La Cruz de Elota y Culiacán manifiestan el fenómeno de resistencia, se consideró como patrón de comparación o líneas base los datos de la colonia de picudos de El Rosario, Sinaloa. Esta población de insectos se considera susceptible ya que la zona fue recientemente abierta a la agricultura, cuenta con mayor biodiversidad y no está sometida a presión de selección por los insecticidas considerados en el presente experimento y está aislada de centros de explotación intensiva del cultivo del chile.

La evaluación estadística se realizó con el procedimiento Probit  $\log_{10}$  del programa estadístico SAS (SAS, 2008). Se calcularon los valores de DL<sub>50</sub> y DL<sub>95</sub> para cada insecticida con sus respectivos intervalos de confianza o límites fiduciales (LF). Se determinaron los valores de la pendiente de la línea de regresión y las respuestas dosis-mortalidad para hacer un ajuste de regresión lineal entre los logaritmos del estímulo y las unidades probit de la respuesta (Ldp) (Robertson *et al.*, 2007) y una prueba de bondad de ajuste mediante el cálculo de la Ji-cuadrada ( $\chi^2$ ) de los datos para cada insecticida y cada población de insectos, bajo la hipótesis

nula de que los datos se ajustan a una línea recta. Si el valor de la  $\chi^2$  observado es mayor al valor tabulado, los datos no se ajustan a una línea recta y es un indicativo de fallas en la manipulación metodológica, o bien, no existe tal recta, debido a la heterogeneidad genética de los individuos en la muestra en su respuesta al tóxico que se evalúa (Lagunes y Vázquez, 1999, Rodríguez *et al.*, 2009). La proporción o factor de resistencia (FR) se calculó dividiendo la DL<sub>50</sub> y DL<sub>95</sub> de las poblaciones de La Cruz y Culiacán entre la DL<sub>50</sub> y DL<sub>95</sub> de la población de El Rosario.

### 2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayor tolerancia al clorpirifós etil se obtuvo en la población de La Cruz de Elota al registrar el valor más alto de DL<sub>50</sub>, el cual es el parámetro más común para determinar la toxicidad de un plaguicida. Contrario a lo anterior, en la población de Culiacán se registró el mayor valor de DL<sub>95</sub>. Esta tendencia se manifiesta ya que la homogeneidad es mayor en la población de La Cruz de Elota con un valor más alto de la pendiente de la línea de regresión. La pendiente registrada para la población de Culiacán es muy similar a la población de El Rosario y se consideran relativamente heterogéneas en su respuesta al tóxico. Es por esta situación que el FR<sub>50</sub> alcanzó un valor de 11.74 y disminuyó cuando se calculó el FR<sub>95</sub>, con respecto a la colonia de El Rosario (Cuadro 1). En relación con los datos del FR<sub>50</sub>, y a los criterios de Young-Joon *et al.* (2004) y de investigadores de Ciba-Geigy (1991), se puede catalogar a la población de picudos del chile de La Cruz de Elota con una tolerancia moderada y una tendencia homogénea a desarrollar resistencia si no se toman medidas correctivas a tiempo. Las poblaciones de Culiacán y El Rosario no se consideran estadísticamente diferentes entre sí, ya que sus LF se traslapan a nivel de la DL<sub>50</sub>, y dado que los valores de  $\chi^2$  observados son mayores a los tabulados, los datos no se ajustan a una línea recta, es probable que las tres poblaciones contengan núcleos de insectos con genoma de resistentes interactuando con los susceptibles. Tendencias similares se documentan en trabajos realizados por Servin *et al.* (2008) para insecticidas organofosforados y por Avendaño *et al.* (2005) y Avendaño-Meza (2014) para el mismo insecticida.

En los bioensayos con malatión, la población de La Cruz de Elota registró las DL más altas, tanto al 50% como al 95%, los FR también fueron los más altos (Cuadro 1), por lo que se considera que también, para este insecticida, la población está en proceso de resistencia incipiente. Las tres poblaciones son estadísticamente diferentes. Los valores de la  $\chi^2$  indican que los datos de las tres poblaciones se ajustan al modelo lineal y se considera que la respuesta al tóxico fue homogénea. Lo anterior permite considerar a la DL<sub>50</sub> de 0,23  $\mu\text{g}$  adulto<sup>-1</sup> de la población de El Rosario, como valor de referencia y una línea base que sirva de comparativo para futuros trabajos de monitoreo de la resistencia a malatión.

Para oxamil, las DL más altas se registraron en la población de La Cruz de Elota. La pendiente de la línea de regresión alcanzó el nivel más bajo de las tres poblaciones, lo que indica que es una población heterogénea en cuanto a la respuesta al tóxico. El FR<sub>50</sub> de 10.05x indica que también se está adquiriendo tolerancia a este insecticida en la población de La Cruz de Elota y, dado el valor alto de la  $\chi^2$  no se ajusta al modelo lineal; probablemente se tengan núcleos de insectos resistentes interactuando con susceptibles, situación que se refleja en el FR<sub>95</sub> que se eleva hasta 38x. La población de Culiacán manifiesta una tolerancia relativamente baja, aunque difiere estadísticamente de la población de referencia de El Rosario. Esta última se sugiere como línea base, dado el carácter homogéneo que manifiesta en cuanto a su respuesta al tóxico y al valor bajo de la  $\chi^2$  en la prueba de bondad de ajuste (Cuadro 1).

Los valores más bajos de DL<sub>50</sub> se registraron para thiametoxam, lo que indica que éste es uno de los productos más tóxicos para el picudo del chile y ha sido, hasta ahora, uno de los más efectivos. Sin embargo, también es uno de los insecticidas más utilizados y propenso a que se desarrolle resistencia hacia él, sobre todo en la región de La Cruz de Elota. La prueba de  $\chi^2$  indica que los datos obtenidos en las tres poblaciones se ajustan a una línea recta, por lo que se pueden catalogar como de una respuesta homogénea. Lo anterior es particularmente negativo en el caso de la población de La Cruz de Elota ya que, según los criterios de Young-Joon *et al.* (2004), ésta se considera como una población con nivel alto de tolerancia ya que alcanzó un FR<sub>50</sub> de 50.4x y de acuerdo a los expertos de la FAO (1979), está

muy cerca de considerarse resistente, ya que su DL<sub>50</sub> es mayor que la DL<sub>99</sub> (0,38 µg adulto<sup>-1</sup>) de la colonia de referencia de El Rosario. Debido al carácter homogéneo en cuanto a la respuesta de la población de El Rosario, al valor bajo de la DL<sub>50</sub> y un ajuste adecuado de los datos al modelo lineal ( $\chi^2$ ), ésta se puede considerar como línea base que sirva de referencia para futuras investigaciones.

Cuadro1. Toxicidad a insecticidas en tres poblaciones de picudo del chile *A. eugenii* del estado de Sinaloa. 2014.

Insecticida	N <sup>*</sup>	DL <sub>50</sub> (LF 95%) <sup>€</sup>	DL <sub>95</sub> (LF 95%) <sup>£</sup>	b	$\chi^2$	Pr > $\chi^2$	FR <sub>50</sub> <sup>¥</sup>	FR <sub>95</sub> <sup>¥</sup>
<b>Clorpirifós etil</b>								
El Rosario	294	0.175 (0.07-0.40)	7.99 (1.95-455)	0.991	11.997	0.034	--	--
La Cruz	240	2.054 (0.77-5.54)	15.63 (5.7-1308)	1.866	18.465	<0.001	11.74	1.96
Culiacán	280	0.635 (0.14-5.71)	28 (3.86-61581)	1.000	31.150	<0.001	3.63	3.51
<b>Malatión</b>								
El Rosario	405	0.230 (0.18-0.29)	2.86 (1.8-5.41)	1.502	6.368	0.497	--	--
La Cruz	314	3.838 (3.03-4.78)	35.7 (24.1-62.6)	1.697	3.283	0.772	16.69	12.48
Culiacán	240	0.623 (0.48-0.80)	5.44 (3.5-10.3)	1.748	4.756	0.313	2.71	1.90
<b>Oxamil</b>								
El Rosario	270	0.055 (0.04-0.07)	0.37 (0.24-0.68)	1.979	3.453	0.485	--	--
La Cruz	320	0.553 (0.08-1.67)	14.1 (3.4-4003)	1.168	29.553	<0.001	10.05	38.18
Culiacán	327	0.189 (0.08-0.37)	4.288 (1.4-97.7)	1.213	14.692	0.011	3.44	11.56
<b>Thiametoxam</b>								
El Rosario	315	0.01 (0.008-0.013)	0.13 (0.08-0.25)	1.484	5.357	0.616	--	--
La Cruz	331	0.504 (0.36-0.67)	10.81 (6.2-25.2)	1.235	1.353	0.969	50.40	80.70
Culiacán	320	0.037 (0.02-0.06)	0.53 (0.23-2.22)	1.421	11.224	0.081	37.0	3.95
<b>Zeta-cipermetrina</b>								
El Rosario	280	0.399 (0.22-0.66)	6.13 (2.69-33.9)	1.386	11.855	0.065	--	--
La Cruz	320	2.405 (1.27-5.13)	21.56 (8.4-327)	1.727	29.077	<0.001	6.03	3.52
Culiacán	235	1.266 (0.99-1.68)	9.85 (5.9-21.34)	1.846	4.325	0.632	3.17	1.61

\*Número de insectos tratados.

€Dosis Letal Media expresada en µg adulto<sup>-1</sup> y Límites Fiduciales al 95%.

£ Dosis Letal 95 expresada en µg adulto<sup>-1</sup> y Límites Fiduciales al 95%.

b Pendiente de la línea de regresión.

¥Factor de resistencia, resultado de dividir la DL de la población problema entre la DL de la colonia de referencia.

Los datos obtenidos con zeta-cipermetrina muestran una tendencia similar; el valor de DL<sub>50</sub> más alto se registró en la población de La Cruz de Elota, las

poblaciones de Culiacán y El Rosario registraron valores más bajos, aunque se consideran estadísticamente diferentes (Cuadro 1). De acuerdo al  $FR_{50}$  obtenido, la población de La Cruz de Elota se considera ligeramente tolerante a este insecticida, característica que comparte con la población de Culiacán, al ser estas dos estadísticamente iguales, ya que sus LF se traslapan a nivel de la  $DL_{50}$ .

La mayor tolerancia observada en la población de insectos de La Cruz de Elota se debe a que ha estado sometida a una presión de selección insecticida más fuerte a través del tiempo. El sistema de explotación es más intensivo, con cientos de hectáreas de monocultivo de chile a campo abierto. Contrario a la población de Culiacán, ésta fue colectada en parcelas más pequeñas y desde hace más de cinco años se cultiva bajo malla sombra donde existe un estricto control de las aplicaciones de agroquímicos.

La aplicación en campo de los resultados de un bioensayo, permite seleccionar insecticidas para los que la población de insectos aún no desarrolla resistencia o evitar los que ya la tienen. La utilización racional de insecticidas contra una plaga en un cultivo determinado requiere de la evaluación previa de la efectividad de los productos a emplear (Lagunes-Tejeda *et al.*, 2009). Esto ayuda a reducir el uso de productos no efectivos que encarecen la producción y contaminan el medio. En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se recomienda reducir o limitar el uso de malatión y clorpirifós etil en la población de La Cruz de Elota. Evitar el uso de estos productos como insecticida inicial en el combate del picudo del chile, así como en aplicaciones en áreas no cultivadas. Limitar el número de aplicaciones de neonicotinoides en el cultivo y en la temporada, si el cultivo ya ha sido tratado con un insecticida de este grupo en aplicación temprana para otras plagas y es necesario el combate adicional del picudo, usar un producto o productos de diferente modo de acción. Es recomendable dejar algunas generaciones sin presión de selección por este grupo de insecticidas; esto es posible con una rotación de insecticidas por grupo químico o de diferente modo de acción (IRAC, 2015). Si la plaga ha estado cierto tiempo expuesta a neonicotinoides, dejar cuando menos el mismo tiempo sin exposición para este grupo de productos. Para el manejo de la resistencia, la rotación entre insecticidas con diferente modo de acción es una práctica más

recomendable que las mezclas de tanque. Sin embargo, para asegurar el control o ampliar el espectro de acción a otras plagas, a menudo se considera necesario mezclar diferentes productos. Cuando esto ocurra, es importante que los insecticidas seleccionados sean eficaces contra la plaga o complejo de plagas a las cuales se quiere combatir y que tengan el mismo periodo de persistencia en el ambiente. Se debe considerar que, con el uso de múltiples productos con el mismo modo de acción en una mezcla de tanque, se incrementa la presión de selección de la plaga hacia esos productos y hacia otros relacionados toxicológicamente. Como estrategia de manejo de insecticidas para retrasar la resistencia se sugiere alternar insecticidas de diferente modo de acción, entre los que se encuentran oxamil, carbaril, malatión, clorpirifós etil, permetrina, cyflutrin, zeta-cipermetrina, thiametoxam, criolita y diflubenzuron (Gastélum *et al.*, 2009). El uso de insecticidas biorracionales, hongos entomopatógenos y extractos vegetales se pueden incluir en esta rotación, siempre y cuando se compruebe su eficacia (García-Nevárez *et al.*, 2012, Adesso *et al.*, 2014).



## CAPÍTULO 3. EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE INSECTICIDAS PARA EL MANEJO DE LA RESISTENCIA DEL PICUDO DEL CHILE

### 3.1. INTRODUCCIÓN

México es el principal exportador de chile (*Capsicum annumm* L.) para consumo en fresco en el mundo, con una superficie sembrada de 148,968 ha, una producción de 2,732,635 t y una media nacional de 19 t ha<sup>-1</sup> en el ciclo agrícola 2014. Los principales estados productores son Zacatecas, Chihuahua, San Luis Potosí y Sinaloa, con más de la mitad de la superficie sembrada en el país, se destaca este último por la producción alcanzada de 604,773 t y un rendimiento de 50.44 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2016).

Entre las principales limitantes del cultivo de chile se encuentran las plagas insectiles, de éstas, el picudo *Anthonomus eugenii* Cano se considera la plaga más importante y un problema clave durante las etapas de floración y fructificación en todas las zonas productoras (Jiménez, 2004; Toapanta *et al.*, 2005; Rodríguez-Leyva *et al.*, 2007). Se estima que en México se pierden de 70 a 80 millones de dólares anualmente sólo por el ataque del picudo (Rodríguez-Leyva *et al.*, 2012).

Las prácticas que se utilizan para controlar al picudo del chile consisten de una combinación de control químico y cultural, lo cual mantiene las poblaciones de la plaga a niveles bajos, pero a raíz del uso intensivo de insecticidas, cada día se reduce el número de éstos capaces de ejercer un control satisfactorio, debido principalmente al desarrollo de resistencia (Riley y King, 1994; Servín *et al.*, 2007). El manejo de esta plaga se había enfocado previamente en el uso de variedades tolerantes (Quiñonez y Lujan, 2002), recolección de frutos caídos (Capinera, 2015), trampeo masivo de adultos y uso de hongos entomopatógenos (Coudriet y Kishaba, 1988). Sin embargo, en la práctica, el manejo del picudo del chile recae en aplicaciones de insecticidas químicos, inclusive, existen en el mercado combinaciones de insecticidas de los grupos neonicotinoides con piretroides, los cuales han sido ampliamente aceptados por los productores (Ruíz *et al.*, 2009), pero

representan un riesgo potencial ya que generan una presión de selección extra sobre la plaga.

Una parte fundamental en el combate químico de plagas es el Manejo de Resistencia a Insecticidas (MRI) (FAO, 2012), éste fue alentado por la creciente documentación de casos de artrópodos resistentes a plaguicidas (Georghiou y Lagunes, 1991) y el inicio de una base de datos interactiva del tema (Whalon *et al.*, 2008). El MRI consiste de estrategias que tienen por objetivo conservar la susceptibilidad de los artrópodos plaga a los plaguicidas disponibles y mantener la efectividad de estos insumos, al prevenir o retrasar el desarrollo de razas resistentes para evitar el incremento de la dosis de campo requerida y, por tanto, no aumentar los costos de combate ni los riesgos a la salud o al ambiente (Lagunes-Tejeda *et al.*, 2009).

El manejo adecuado del picudo del chile depende del monitoreo cuidadoso de las poblaciones de adultos y de su control mediante insecticidas, aplicados por la mañana o al atardecer cuando el insecto se encuentre expuesto en la superficie de la planta (Corrales, 2002). Al momento de seleccionar el insecticida, se deben utilizar productos de eficacia comprobada, ya que existen reportes que, en el estado de Sinaloa, el picudo del chile mostró tolerancia a varios de ellos (Gastélum-Luque *et al.*, 2004; Avendaño-Meza *et al.*, 2010, 2014, 2016). Además, el control químico deberá estar sustentado en estudios de efectividad biológica de los insecticidas en el campo, lo que permitirá utilizar los que tengan mejor control de la plaga y evitar el uso de productos no efectivos y, con ello, el desarrollo de poblaciones resistentes y aplicaciones innecesarias que incrementan los riesgos de contaminación e intoxicación por plaguicidas y encarecen la producción (Lagunes-Tejeda *et al.*, 2009). Atendiendo la problemática anterior, se planteó el presente trabajo, con el objetivo de realizar estudios de efectividad biológica de los insecticidas clorpirifós etil y malatión (fosforados), oxamil (carbamato), thiametoxam (neonicotinoide) y zeta-cipermetrina (piretroide), comúnmente usados contra picudo del chile en tres poblaciones del estado de Sinaloa, para llenar un vacío de información que se tiene respecto a este tópico y que sirva como una herramienta en la toma de decisiones para un manejo adecuado de la resistencia a insecticidas en poblaciones *A. eugenii*.

### 3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron tres experimentos en plantaciones comerciales de chile del estado de Sinaloa: uno en Campo 5 en La Cruz de Elota, Sinaloa (23°59'44"N, 106°53'48"O), en un cultivo de chile Bell para cosechar en verde y/o rojo establecido a campo abierto, el 15 de septiembre de 2014; otro experimento en el poblado Potrerillo en El Rosario (23°0'47"N, 105°57'12"O), en chile serrano a campo abierto, el 3 de octubre de 2014 y un tercero en Agrícola Sabino en Culiacán (24°37'31"N, 107°27'35"), en chile Bell establecido bajo malla sombra, el 19 de septiembre de 2014. Se evaluaron las dosis bajas y altas recomendadas en la etiqueta de los insecticidas clorpirifós etil (Lorsban 75 WG, Dow Agrosciences), malatión (Malatión 1000, Indiapac), oxamil (Vydate L, DuPont), thiametoxam (Actara, Syngenta) y zeta-cipermetrina (Mustang Max, FMC). Los tratamientos considerados fueron: clorpirifós etil 0.8 kg ha<sup>-1</sup>, clorpirifós etil 1.2 kg ha<sup>-1</sup>, malatión 1.0 L ha<sup>-1</sup>, malatión 2.0 L ha<sup>-1</sup>, oxamil 1.5 L ha<sup>-1</sup>, oxamil 3.0 L ha<sup>-1</sup>, thiametoxam 0.2 kg ha<sup>-1</sup>, thiametoxam 0.4 kg ha<sup>-1</sup>, zeta-cipermetrina 0.3 L ha<sup>-1</sup> y zeta-cipermetrina 0.6 L ha<sup>-1</sup>, en un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, distribuidos en dos parcelas grandes con las variantes de dosis bajas y altas, comparados con un testigo donde no se aplicó insecticida, para una suma de seis factores de variación y un total de 12 tratamientos, los cuales se replicaron cuatro veces. Se realizaron cuatro aplicaciones de cada insecticida el 3, 10, 17 y 24 de marzo de 2015 en La Cruz de Elota; el 4, 11, 18 y 25 de marzo de 2015 en El Rosario y el 1, 6, 12 y 16 de mayo de 2015 en Culiacán. Las aplicaciones se realizaron con una bomba de mochila motorizada calibrada para asperjar 300 litros de agua por hectárea. El parámetro de evaluación fue el promedio de adultos contados en 30 terminales por unidad experimental (se revisaron visualmente botones florales, flores y yemas terminales), los muestreos se realizaron al siguiente día de la aplicación entre las 7:00 y 10:00 AM cuando la mayoría de los picudos se están alimentando (Corrales, 2002). El porcentaje de efectividad se calculó con el promedio de los adultos de picudo en cada tratamiento para cada insecticida, mediante la fórmula de Abbott (Abbott, 1925). El análisis estadístico se realizó con el programa SAS® para Windows® Ver. 9.3 (SAS Institute

Inc, 2011), la comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey con el 5% de significancia.

### 3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados obtenidos en La Cruz de Elota, Sinaloa indica que existe diferencia significativa en la interacción entre los insecticidas con las dosis; así como entre los tratamientos del factor 'Insecticida', no se encontró diferencia entre los promedios de adultos registrados en el factor 'Dosis'. La comparación de medias realizada con la interacción de los insecticidas con las dosis altas y bajas muestra diferencias entre estos y el testigo (Cuadro 2). En todos los tratamientos se registraron valores entre 4.28 y 4.72 adultos en promedio y no son estadísticamente diferentes entre sí, pero si difieren del testigo. El porcentaje de participación de los insecticidas fue relativamente bajo en esta región, ya que sólo aportaron entre el 42.37 y 47.71% del control de la plaga, considerando los promedios de las dosis bajas y altas (Figura 1a). Sólo cuatro tratamientos (malatión a dosis baja, clorpirifós etil a dosis alta, zeta-cipermetrina a dosis baja y oxamil a dosis alta) lograron superar del 50% de control (Figura 1b).

Cuadro 2. Promedio de adultos de picudo del chile *A. eugenii* en cuatro muestreos realizados en cultivo de chile bell a campo abierto en La Cruz de Elota, Sinaloa. 2015.

Interacción Dosis x Insecticida				Insecticida			Dosis		
Tratamiento	Dosis	N	Media*	Tratamiento	N	Media*	Tratamiento	N	Media
Testigo	Alta	4	8.19 a	Testigo	8	8.19 a	Baja	24	5.32
Testigo	Baja	4	8.19 a	Clorpirifos	8	4.72 b	Alta	24	5.00
Oxamil	Baja	4	5.56 b	Oxamil	8	4.69 b			
Clorpirifos	Baja	4	5.50 b	Thiametoxam	8	4.69 b			
Malation	Alta	4	4.75 b	Malation	8	4.41 b			
Thiametoxam	Baja	4	4.69 b	Zcipermetrina	8	4.28 b			
Thiametoxam	Alta	4	4.69 b						
Zcipermetrina	Alta	4	4.62 b						
Malation	Baja	4	4.06 b						
Clorpirifos	Alta	4	3.94 b						
Zcipermetrina	Baja	4	3.94 b						
Oxamil	Alta	4	3.81 b						

\*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey  $\alpha=0.05$

Baja = Dosis bajas de insecticida en la parcela grande

Alta = Dosis altas de insecticida en la parcela grande

N = Número de observaciones

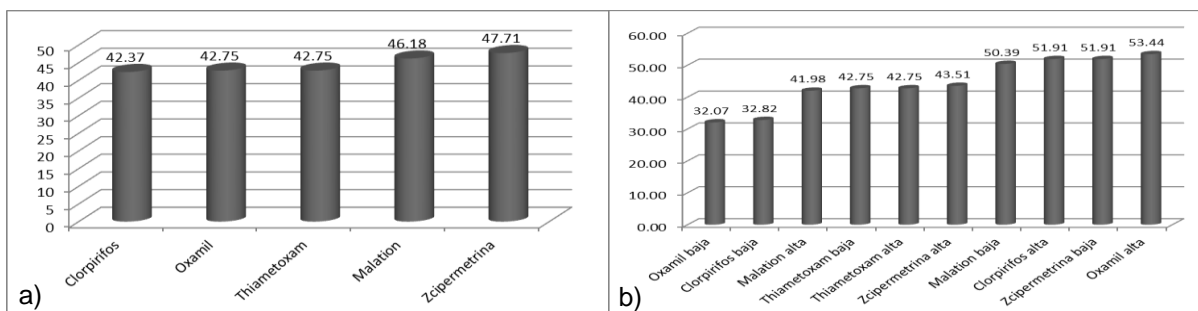


Figura 1. Porcentajes de efectividad de cinco insecticidas en la población de picudo del chile *A. eugenii* de La Cruz de Elota, Sinaloa. 2015. a) Promedio de las dosis bajas y altas de cada insecticida, b) Tratamientos ó Interacción dosis x insecticida.

El análisis de varianza de los datos del experimento realizado en El Rosario, Sinaloa indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos en la interacción dosis con insecticidas y en el factor 'Insecticida'; no existe diferencia entre los componentes del factor parcelas grandes (dosis bajas y altas). La comparación de medias realizada con la interacción de las dosis altas y bajas y los insecticidas ubicados en la parcela chica, muestra diferencias entre los tratamientos y ubica como el más efectivo al clorpirifós etil a dosis alta ya que, en los cuatro muestreos, no se registró un solo insecto (Cuadro 3). La prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) realizada a los insecticidas con el promedio de ambas dosis separa a los tratamientos en dos grupos; todos los tratamientos registraron valores entre 0.31 y 0.72 adultos en promedio y no son estadísticamente diferentes entre sí; sin embargo, difieren del testigo que registró un promedio de 2.81 adultos de picudos del chile. En esta región, a diferencia de la anterior, se observó una efectividad superior al 74% en el control de la plaga por parte de todos los insecticidas (Figura 2a). En la interacción, el porcentaje de control más bajo fue del 60% y se observó en el tratamiento thiametoxam a dosis alta. Sin embargo, con este mismo insecticida y a la dosis baja, el control fue del 89% (Figura 2b). Esto se debió probablemente a lo escaso de las observaciones de insectos registrados en los muestreos. Lo anterior es debido a que la plaga en esta región ha estado poco sometida a la presión de selección por insecticidas, lo que se refleja en una efectividad superior de los mismos y se constituye, por el momento, como un reservorio de individuos susceptibles para el manejo de la resistencia a esta plaga.

Cuadro 3. Promedio de adultos de picudo del chile *A. eugenii* en cuatro muestreos realizados en cultivo de chile jalapeño a campo abierto en El Rosario, Sinaloa. 2015.

Interacción Dosis x Insecticida				Insecticida			Dosis		
Tratamiento	Dosis	N	Media*	Tratamiento	N	Media*	Tratamiento	N	Media
Testigo	Baja	4	2.81 a	Testigo	8	2.81 a	Baja	24	0.94
Testigo	Alta	4	2.81 a	Thiametoxam	8	0.72 b	Alta	24	0.84
Thiametoxam	Alta	4	1.12 b	Malatión	8	0.59 b			
Clorpirifós	Baja	4	0.81 bc	Oxamil	8	0.50 b			
Oxamil	Baja	4	0.75 bc	Clorpirifós	8	0.41 b			
Malatión	Baja	4	0.62 bcd	Zcipermetrina	8	0.31 b			
Malatión	Alta	4	0.56 bcd						
Thiametoxam	Baja	4	0.31 cd						
Zcipermetrina	Alta	4	0.31 cd						
Zcipermetrina	Baja	4	0.31 cd						
Oxamil	Alta	4	0.25 cd						
Clorpirifós	Alta	4	0.00 d						

\*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey  $\alpha=0.05$

Baja = Dosis bajas de insecticida en la parcela grande

Alta = Dosis altas de insecticida en la parcela grande

N = Número de observaciones

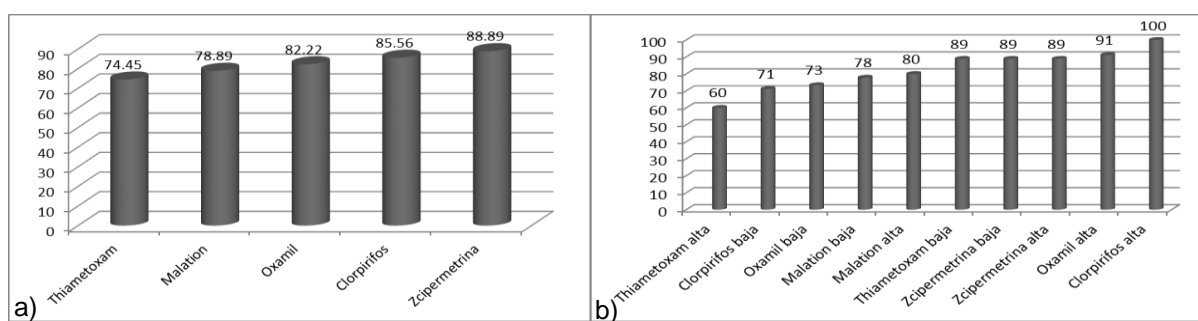


Figura 2. Porcentajes de efectividad de cinco insecticidas en la población de picudo del chile *A. eugenii* de El Rosario, Sinaloa. 2015. a) Promedio de las dosis bajas y altas de cada insecticida, b) Tratamientos ó Interacción dosis x insecticida.

En el experimento realizado en Culiacán, en cultivo bajo malla sombra, se presentó una respuesta intermedia entre las poblaciones de La Cruz y El Rosario. El análisis de varianza realizado con los datos de la interacción dosis x insecticida muestra diferencia significativa entre los tratamientos, también se registró diferencias entre los eventos del factor 'Insecticida', no hubo diferencia estadística con el factor 'Dosis'. El mayor número de insectos se registró en el testigo y fue diferente significativamente ( $p \leq 0.05$ ) de los tratamientos insecticidas, de éstos se observa una mayor eficacia en el tratamiento con oxamil al registrar el promedio más bajo de

insectos (Cuadro 4). Este tratamiento fue estadísticamente similar a thiametoxam y zeta-cipermetrina y diferente a malatión y clorpirifós etil. La prueba de medias de la interacción dosis-insecticidas separa al testigo de los demás tratamientos, los cuales tuvieron el mismo nivel de significancia estadística entre sí. Los porcentajes de control fluctuaron entre 56 y 80% para el factor insecticidas (Figura 3a) y entre 52 y 84% para la interacción dosis x insecticida (Figura 3b).

Cuadro 4. Promedio de adultos de picudo del chile *A. eugenii* en cuatro muestreos realizados en chile bell bajo malla sombra en Culiacán, Sinaloa, 2015.

Interacción Dosis x Insecticida				Insecticida			Dosis		
Tratamiento	Dosis	N	Media*	Tratamiento	N	Media*	Tratamiento	N	Media
Testigo	Alta	4	8.00 a	Testigo	8	8.00 a	Baja	24	3.85
Testigo	Baja	4	8.00 a	Malatión	8	3.47 b	Alta	24	3.36
Malatión	Baja	4	3.81 b	Clorpirifós	8	3.31 b			
Clorpirifós	Baja	4	3.69 b	Thiametoxam	8	2.69 bc			
Zcipermetrina	Baja	4	3.25 b	Zcipermetrina	8	2.66 bc			
Thiametoxam	Baja	4	3.06 b	Oxamil	8	1.53 c			
Clorpirifós	Alta	4	2.81 b						
Malatión	Alta	4	2.75 b						
Thiametoxam	Alta	4	2.56 b						
Zcipermetrina	Alta	4	2.31 b						
Oxamil	Baja	4	1.81 b						
Oxamil	Alta	4	1.25 b						

\*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey  $\alpha=0.05$

Baja = Dosis bajas de insecticida en la parcela grande

Alta = Dosis altas de insecticida en la parcela grande

N = Número de observaciones

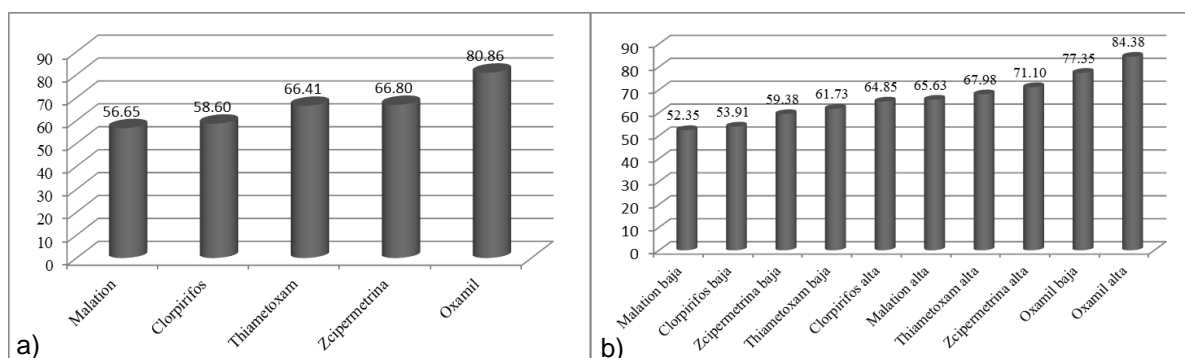


Figura 3. Porcentajes de efectividad de cinco insecticidas en la población de picudo del chile *A. eugenii* de Culiacán, Sinaloa, 2015. a) Promedio de las dosis bajas y altas de cada insecticida, b) Tratamientos ó Interacción dosis x insecticida.

En la población de La Cruz de Elota se presentaron los porcentajes de control más bajos, ya que la eficacia de los insecticidas apenas superó el 50% con malatión a dosis baja, y clorpirifós, zeta-cipermetrina y oxamil a dosis alta. Lo anterior está relacionado con un aumento en la tolerancia de la población de *A. eugenii* a los insecticidas usados para su combate, principalmente los incluidos en el presente estudio (Avendaño-Meza *et al.*, 2010, 2016). En esta zona no se observó diferencia significativa entre las dosis bajas y altas para todos los insecticidas, lo que hace innecesario el aumento de dosis cuando se incrementa la población del insecto. Además, al limitar el uso de estos insecticidas, se prioriza el uso de técnicas de manejo de la plaga alternativas al uso de agroquímicos, como el control legal y cultural. Es importante respetar, y si es posible, incrementar el tiempo de la ventana fitosanitaria libre del cultivo e implementar un programa riguroso de monitoreo y recolección manual de adultos para disminuir la presión de selección sobre la plaga y favorecer un manejo adecuado de la resistencia, tal como lo sugieren Lagunes-Tejeda *et al.* (2009). Corrales (2002), quien realizó un trabajo en La Cruz de Elota, Sinaloa para comparar el control químico convencional y varias estrategias biorracionales contra picudo del chile, señala que la mayor eficacia se obtuvo con la aplicación de insecticidas químicos, no sin antes ejercer una enorme presión de selección sobre la plaga, ya que se realizaron 27 aplicaciones para mantener a este insecto por debajo del umbral económico.

Los promedios más bajos en la cantidad de adultos de picudo se observaron en la población de El Rosario, Sinaloa, los porcentajes de control oscilaron entre el 74 y 89% para los insecticidas evaluados, independientemente de la dosis aplicada. Lo anterior permite reconocer que, con las dosis bajas se logrará un control satisfactorio de la plaga y un aumento de éstas no se traduce necesariamente en una mejora de la eficacia del producto, permitiendo con ello un manejo racional de los insumos utilizados y la conservación de la susceptibilidad del picudo a los insecticidas. El objetivo del manejo de la resistencia es el de prevenir o retardar la acumulación de individuos resistentes en las poblaciones de plagas, de manera que se preserve la efectividad de los plaguicidas disponibles. El manejo de la resistencia puede también llamarse manejo de la susceptibilidad como medio de mantener un alto porcentaje de



genes susceptibles dentro de la población de la plaga y así mantener los genes de resistencia al mínimo, tal como lo sugieren investigadores de la FAO (2012).

En la población de insectos de Culiacán hubo una respuesta intermedia entre las tres poblaciones, los tratamientos malatión y clorpirifós etil (dosis bajas) tuvieron una respuesta parecida a la obtenida en La Cruz de Elota, con efectividad de 52.35 y 53.91%, respectivamente. Mientras que, en el tratamiento a base de oxamil, se lograron porcentajes de efectividad superiores al 77%, resultados congruentes a los obtenidos por Seal y Schster (1995) y relacionados con bioensayos de laboratorio de estudios de susceptibilidad a insecticidas efectuados por Avendaño-Meza *et al.* (2010, 2014). La población de picudos de esta zona está respondiendo a la presión de selección de los insecticidas zeta-cipermetrina y thiametoxam, ya que sólo se lograron controles satisfactorios utilizando dosis altas de estos insumos. Estas fallas en el control se relacionan con el incremento en los niveles de tolerancia a los mismos, ya que los productos antes señalados se aplican intensivamente y en los momentos críticos de ataque de esta plaga, por lo que la presión de selección continúa incrementándose y dificulta el retorno a la susceptibilidad en un corto a mediano plazo. Gutierrez-Olivares *et al.* (2007) han documentado la inestabilidad de la resistencia de insecticidas neonicotinoides; bajo condiciones de laboratorio, esta decreció de 6.9 a 2.8x para thiametoxam en cuatro generaciones libres de presión de selección, por ello la importancia de aplicar este tipo de insecticidas sólo en los periodos críticos del desarrollo del cultivo. A su vez, García-Nevarez *et al.* (2012) evaluaron la eficacia de insecticidas biorracionales y convencionales sobre picudo del chile en Chihuahua y encontraron que thiametoxam, clorpirifós etil y lamda-cihalotrina mostraron un impacto en la reducción de la población de esta plaga hasta cinco días después de la aplicación, el tratamiento biorracional se comportó igual que el testigo. Por su parte, Ruiz *et al.* (2009) concluyen que la azadiractina es una buena alternativa en el control de *A. eugenii*, y podría sustituir el uso de oxamil y neonicotinoides cuando las poblaciones de la plaga no son altas, minimizando de esta manera la presión de selección para resistencia a estos plaguicidas. En un trabajo realizado por Adesso *et al.* (2014) para investigar el efecto de los productos de bajo riesgo (arcilla de caolín, tierra de diatomeas, neem y extracto de *Chenopodium*

*ambrosioides*) contra picudo del chile, comparados con los insecticidas thiametoxam y oxamil aplicados en rotación y un testigo no tratado, encontraron que el único tratamiento donde se incrementó el rendimiento fue en la rotación de insecticidas convencionales. Por otro lado, con los productos orgánicos no se incrementó significativamente el rendimiento, pero su uso disminuyó el daño total, lo que indica su posible utilidad en combinación con plaguicidas químicos convencionales o de bajo impacto ambiental bajo una estrategia de manejo integrado de plagas.

## CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

La población de picudo del chile de La Cruz de Elota está desarrollando tolerancia o resistencia incipiente a los insecticidas clorpirifós etil, malatión, oxamil y zeta-cipermetrina y ha desarrollado una tolerancia alta a thiametoxam.

Las  $DL_{50}$  más altas se observaron en la población de La Cruz de Elota, principalmente con los insecticidas del grupo de los organofosforados malatión y clorpirifós etil y el piretroide zeta-cipermetrina. En la misma población, las  $DL_{50}$  más bajas se registraron para oxamil y thiametoxam. La población de picudos del chile de Culiacán presentó una respuesta más parecida a la de El Rosario, aunque difiere estadísticamente de ésta, por lo que se cataloga como ligeramente tolerante a los insecticidas evaluados en este experimento.

La proporción de resistencia a los insecticidas en la población de picudos de Culiacán fue baja para clorpirifos etil, malatión, oxamil y zeta-cipermetrina y alta para thiametoxam. En la población de insectos de La Cruz de Elota, este factor de resistencia fue moderado para clorpirifos etil, malatión, oxamil y zeta-cipermetrina y alto para thiametoxam.

Las líneas base calculadas y propuestas como referencia para el monitoreo de la resistencia a insecticidas son 0.230, 0.055, 0.010 y 0.388  $\mu\text{g}$  adulto<sup>-1</sup> para malation, oxamil, thiametoxam y zeta-cipermetrina, respectivamente.

Se observó baja eficacia de malatión, clorpirifós etil y thiametoxam, en ambas dosis (bajas y altas) en la población de picudos del chile en Culiacán, Sinaloa. Con zeta-cipermetrina se obtuvo buena eficacia sólo a dosis alta, mientras que con oxamil se observó buena eficacia aún con la dosis baja. La población de La Cruz de Elota se mostró tolerante a los insecticidas clorpirifós etil, malatión, oxamil, thiametoxam y zeta-cipermetrina, con bajos niveles de control. En la población de picudos de El Rosario, todos los insecticidas evaluados presentaron buenos porcentajes de control, por lo que se considera una población susceptible y un reservorio de genes de

susceptibilidad para esta plaga. En las tres zonas en estudio no se observó diferencia significativa entre las dosis altas y bajas de los insecticidas, por lo que, de ser necesario aplicar uno de estos insumos, es recomendable aplicarlos a dosis baja para reducir costos y retardar el desarrollo de resistencia, y mantener con ello la eficacia de los productos por un periodo mayor de tiempo.

## CAPÍTULO 5. LITERATURA CITADA

- Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18: 263-267.
- Abreu, E. and C. Cruz. 1985. Occurrence of pepper weevil *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) in Puerto Rico. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 59: 223-224.
- Addesso, K. M., P. A. Stansly, B. C. Kostyk and H. J. McAuslane. 2014. Organic Treatments for Control of Pepper Weevil (Coleoptera: Curculionidae). Florida Entomologist 97(3): 1148-1156. DOI: <http://dx.doi.org/10.1653/024.097.0322>
- Aguilar, R. V. H. 2012. Cultivo del chile en México. Rev. Fitotec. Mex. 35(4): 264-264. Disponible en: [www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802012000400001&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000400001&lng=es&nrm=iso). ISSN 0187-7380. Accesado diciembre 10 de 2017.
- Aispuro, F. A. 2005. Respuesta toxicológica del picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano a cinco insecticidas en laboratorio. Tesis de Licenciatura en Ciencias Agropecuarias con Opción en Protección Vegetal. Facultad de Agronomía-UAS.
- Andrews, K., A. Rueda, G. Gandini, S. Evans, A. Arango and M. Avedillo. 1986. A supervised control program for the pepper weevil *Anthonomus eugenii* Cano in Honduras, Central America. Tropical Pest Management 32(1): 1-4.
- Arnett, R. H. 1973. The beetles of the United States. Am. Ent. Inst. Michigan. 757 p.
- Avendaño, M. F., R. Gastélum, M. Ruiz y M. López. 2001. Susceptibilidad del "Picudo del chile" *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera:Curculionidae) a insecticidas en Culiacán, Sin. XXXVI Congreso Nacional de Entomología y XXVIII Congreso Nacional de Fitopatología: E-106 (Abstr.).
- Avendaño, M. F., R. Gastélum, V. Acosta, M. López y R. Medina. 2005. Evaluación toxicológica de insecticidas en poblaciones de picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano de tres regiones del centro de Sinaloa. En: 2ª Muestra y publicación de resultados de investigación científica agropecuaria. Pp. 371-375.
- Avendaño, M. F., S. Parra, J. L. Corrales, P. Sánchez, M. López y R. Medina. 2015. Efectividad biológica de insecticidas para el control de picudo del chile en Sinaloa. XVIII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ciencias Agrícolas. Mexicali, B.C. Pp. 112-119.

- Avendaño-Meza, F., J. L. Corrales-Madrid, S. Parra-Terraza, R. Medina-López, S. S. Gaspar-Aguilar y F. D. Avendaño-Jatomea. 2016. Líneas base de susceptibilidad a tres insecticidas en poblaciones de picudos del chile *Anthonomus eugenii* cano, 1894 (Coleóptera: Curculionidae) del estado de Sinaloa. *Entomología Mexicana* 3: 775-780.
- Avendaño-Meza, F., M. López-Meza, R. Gastélum-Luque, R. Medina-López, T. P. Godoy-Angulo y S. S. Gaspar-Aguilar. 2010. Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones de picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano en La Cruz de Elota, Sinaloa. *Entomología Mexicana* 9: 860-865.
- Avendaño-Meza, F., S. Parra-Terraza, R. Gastélum-Luque, M. López-Meza, R. Medina-López y M. G. Yáñez-Juárez. 2014. Líneas base de resistencia a cinco insecticidas en poblaciones de picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano de Culiacán, Sinaloa. *Entomología Mexicana* 1: 834-839.
- Bliss, C. I. 1934. The method of probits. *Science* 79(2037): 38-39. [doi:10.1126/science.79.2037.38](https://doi.org/10.1126/science.79.2037.38)
- Bujanos, M. R. 1993. Manejo integrado del barrenillo del chile. INIFAP, Campo Experimental Norte de Guanajuato/Bajío. s/p.
- Caballero, R., D. J. Schuster, H. A. Smith, J. Mangandi and H. E. Portillo. 2015. A systemic bioassay to determine susceptibility of the pepper weevil, *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) to cyantraniliprole and thiamethoxam. *Crop Protection* 72: 16-21.
- Calvo, D. G., A. Pacheco, J. French y E. Alvarado. 1988. Análisis económico del manejo del picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano en Zacapa, Guatemala. *Revista MIP/CATIE* 11: 31-47.
- Camero, L. 2010. Manual Picudo del chile. Ed. Bayer de México S.A. de C.V. 14 p.
- Capinera, J. L., 2015. Pepper Weevil, *Anthonomus eugenii* Cano (Insecta: Coleoptera: Curculionidae). University of Florida, Gainesville, Florida, p. 6. Entomology and Nematology Dept., ENY-278, Fla. Coop. Ext. Ser., IFAS. <http://edis.ifas.ufl.edu/>. Accesado octubre 27 de 2015.
- CATIE. 1993. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo del chile. Programa de mejoramiento de cultivos tropicales. Serie técnica. Informe técnico/CATIE 201. Turrialba, Costa Rica. 143 p.

- Ciba Geigy. 1991. Entomología y Control de Insectos. Manual de uso interno. México. 187p.
- Cofepris. 2016. Catálogo de plaguicidas. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, México. Disponible en <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/CatalogoPlaguicidas.aspx>. Accesado julio 16 de 2016.
- Collett, D. 1991. Modelling Binary Data. Second Edition. Chapman and Hall / CRC. 408 p.
- Corrales, M. J. L. 2002. Estrategias biorracionales para el manejo de las principales plagas del cultivo de chile en La Cruz de Elota, Sinaloa. Tesis de Doctorado. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México.
- Cortez-Mondaca, E. y E. Cabanillas-Duran. 2005. Parasitismo natural del picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera:Curculionidae) en el norte de Sinaloa, México. Segunda Convención Mundial de Chile. Plagas. Pp. 125-130.
- Coto, D. 1996. El picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano, su reconocimiento y posible manejo. Manejo integrado de plagas (Costa Rica) No. 42.
- Coudriet, D. L. and A. N. Kishaba. 1988. Bioassay Procedure for an Attractant of the Pepper Weevil (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Economic Entomology 81(5): 1499-1502.
- Dhingra, S. and P. Sarup. 1990. Development of techniques for detecting resistance in crops pests to insecticides. J. Ent. Res. 14(2):156-163.
- Elmore, J. C., A. C. Davis and R. E. Campbell. 1934. The Pepper Weevil. U.S.D.A. Technical Bulletin 447.
- Eshbaugh, W. H. 1970. A biosystematic and evolutionary study of *Capsicum baccatum* (Solanaceae). Brittonia 22:31-43.
- F.A.O. 1979. Recommended methods for detection and measurement of resistance in agricultural pests to pesticides. FAO Plant Protection Bulletin (27): 29-32.
- FAO. 2012. Código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. Directrices sobre la prevención y manejo de la resistencia a los plaguicidas. Disponible en [www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests\\_Pesticides/Code/FAO\\_RMG\\_SP.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Code/FAO_RMG_SP.pdf). Accesado agosto 03 de 2016.

Finney, D. J. 1977. Probit Analisis. Cambridge University. Press London. 333 p.

Fontes, S. y A. I. Fontes. 1994. Consideraciones teóricas sobre las leyes psicofísicas. Rev. de Psicol. Gral. y Aplic. 47(4): 391-395.

García-Nevárez, G., M. Campos-Figueroa, N. Chávez-Sánchez y F. Quiñonez-Pando. 2012. Eficacia de insecticidas biorracionales y convencionales contra el picudo del chile, *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) en el centro-sur de Chihuahua. Southwestern Entomologist. 37(3): 391-401.

Gastélum, L. R., M. López, T. P. Godoy y F. Avendaño. 2009. Estrategias para el manejo del picudo o barrenillo del chile. En: Jornada para el manejo de plagas y enfermedades de impacto en la horticultura. Memoria de capacitación. Fundación Produce Sinaloa, SAGARPA. Gob. del Estado de Sinaloa. Pp. 27-41.

Gastélum-Luque, R, F. Avendaño-Meza, J. F. Rodríguez-Vázquez, M. López-Meza y T. P. Godoy-Angulo. 2004. Tolerancia a insecticidas en 'picudo del chile' *Anthonomus eugenii* Cano, procedentes de la Cruz de Elota, Sinaloa. En: Entomología Mexicana 3: 728-731.

Georghiou, G. P. and A. Lagunes. 1991. The occurrence of resistance to pesticides in arthropods. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 287 p.

Gómez, O. C. 2000. Control químico del picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) en chile jalapeño, híbrido Mitla, para el valle del Fuerte, Sinaloa. Memorias del XXXV Congreso Nacional de Entomología. SME. Pp. 435- 438.

Guerrero, R. E., V. R. Flores y V. M. Sánchez. 2000. Niveles de susceptibilidad de *Anthonomus eugenii* Cano a insecticidas de cuatro grupos toxicológicos; de diferentes estados de México. XXXV Congreso Nacional de Entomología. Sociedad Mexicana de Entomología. Pp. 335-338.

Gutiérrez-Olivares, M., J. C. Rodríguez-Maciél, C. Llanderal-Cázares, A. P. Terán-Vargas, A. Lagunes-Tejeda y O. Díaz-Gómez 2007. Estabilidad de la resistencia a neonicotinoides en *Bemisia tabaci* (Gennadius), biotipo B de San Luis Potosí, México. Agrocienca 41: 913-920.

Heiser, C. B. 1964. Los chiles y ajíes de Costa Rica y Ecuador. Ciencia y Naturaleza 7:50-57.



- Hubert, J. J. 1980. Bioassay. Kendall/Hunt. Pub. Co. U.S.A. 164 p.
- Ibiza, V. P., J. Blanca, J. Cañizares y F. Nuez. 2012. Taxonomy and genetic diversity of domesticated *Capsicum* species in the Andean region. Genet. Resour. Crop. Evol. 59(6): 1077-1088. <https://doi.org/10.1007/s10722-011-9744-z>
- IRAC. 2015. Mode of action classification brochure. The insecticide resistance action committee. Fifth edition. Disponible en [http://www.irac-online.org/documents/moa\\_brochure/?ext=pdf](http://www.irac-online.org/documents/moa_brochure/?ext=pdf). Accesado diciembre 1 de 2015.
- Jiménez, S. H. 2004. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de chile dulce. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza CATIE. Proyecto Manejo Integrado de Plagas. Turrialba, Costa Rica. 141 p.
- Kraft, K.H., H. Brown, P. Nabhan, E. Luedeling, J. Luna-Ruiz, G. Coppens dEeckenbrugge, J. Hijmans and P. Gepts. 2014. Multiple lines of evidence for the origin of domesticated chili pepper, *Capsicum annuum*, in Mexico. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 111: 6165-6170.
- Laborde, J. A. y A. Pozo. 1984. Presente y pasado del chile en México. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. México. Publicación especial No. 85.
- Lagunes, T. A. y J. A. Villanueva. 1999. Toxicología y manejo de insecticidas. Colegio de Postgraduados, México. 264 p.
- Lagunes, T. A. y M. Vázquez. 1994. El bioensayo en el manejo de insecticidas y acaricidas. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Estado de México. 159 p.
- Lagunes-Tejeda, A., J. C. Rodríguez-Maciel y J. C. De Loera-Barocio. 2009. Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones de artrópodos de México. Agrociencia 43(2): 173-196.
- Leibee, G. L. and J. L. Capinera. 1995. Pesticide resistance in Florida insects limits management options. Florida Entomologist. 78: 386-399.
- Liu S, Li W., Wu Y., Chen C. and Lei J. 2013. De novo transcriptome assembly in chili pepper (*Capsicum frutescens*) to identify genes involved in the biosynthesis of capsaicinoids. PLOS One 8(1-e48156): 1-8.
- Long-Solís J. 1986. Capsicum y cultura: la historia de chile. Fondo de Cultura Económica, México. 203 p.

- López, T. M. E. 1996. Susceptibilidad a insecticidas en dos poblaciones de campo de adultos del barrenillo del chile *Anthonomus eugenii* Cano (Coleóptera: Curculionidae) procedentes de San Luis Potosí, México. Tesis de Maestría en Ciencias especialista en Entomología y Acarología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México.
- McLeod, M. J., S. I. Guttman y W. H. Eshbaugh 1982. Early evolution of chili peppers (*Capsicum*). *Economic Botany* 36: 361-368.
- McLeod, M. J., S. I. Guttman, W. H. Eshbaugh y R. E. Rayle. 1983. An electrophoretic study of evolution in *Capsicum* (Solanaceae). *Evolution* 37: 562–574.
- Molina, A. M. 2013. El significado de los intervalos de confianza. *Rev. Pediatr. Aten. Primaria*. 15(57): 91-94 <http://dx.doi.org/10.4321/S1139-76322013000100016>. Accesado octubre 27 de 2015).
- Mossler, M., M. J. Aerts and O. N. Nesheim. 2012. Florida Crop/Pest Management Profiles: Bell Peppers. Horticultural Sciences Department, Cir. 1240, Entomology and Nematology Dept., ENY-278, Fla. Coop. Ext. Ser., IFAS. University of Florida, Gainesville, Florida, p. 6. <http://edis.ifas.ufl.edu/pi040>. Accesado octubre 27 de 2015).
- Pacheco, M. F. 1985. Plagas de los cultivos agrícolas en Sonora y Baja California. SARH-INIA-CIANO-Campo Agrícola Experimental Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Son. México.
- Pérez, P. P. 2006. Evaluación de parasitoides del picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera:Curculionidae) en el centro de Sinaloa, México. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo estado de México. 76 p.
- Pérez-Castañeda, L. G. Castañón-Nájera, M. Ramírez-Meraz y N. Mayek-Pérez. 2015. Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. *Filogenia y Diversidad en Capsicum* 2(4):117-128.
- Pickersgill, B. 1969. The archeological record of chili peppers (*Capsicum* spp.) and the secuence of the domestication in Peru. *Amer. Antiq.* 34:54-61.
- Plackett, R. L. 1983. Karl Pearson and the Chi-Squared Test. *International Statistical Review*. International Statistical Institute (ISI) 51(1): 59-72. JSTOR 10.2307/1402731. doi:10.2307/1402731.

- Pozo, C. O., S. Montes y E. Redondo. 1991. El chile (*Capsicum* spp.). En: Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. México, pp. 217-238.
- Quiñones, F. and M. Luján. 2002. Differential response of jalapeño genotypes to the damage for pepper weevil *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae). Proceedings of the 16th International Pepper Conference. Tamaulipas, México, del 10 al 12 de noviembre del 2002.
- Quiñones, P. F. y A. Flores. 1991. Toxicidad a insecticidas en poblaciones de picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) en el estado de Chihuahua. XXVI Congreso Nacional de Entomología: 264 (Abstr.).
- Quiñonez, P. F. 1986. Dinámica de poblaciones y daño de plagas del fruto y efecto del daño simulado en el rendimiento de chile jalapeño. En: Rivera, M.M. y M.E. Montes (Eds.). Primer día del horticultor (Pub. Esp.6): 21-30.
- Riley, D. G. 1992. The Pepper Weevil and its Management. Texas Agricultural Extension Service. The Texas A & M. University System. Coll. Stat. Texas. L-5069.
- Riley, D. G. and A. N. Sparks Jr. 1995. The pepper weevil and its management. Texas Agri. Ext. Serv. Texas A&M Univ. L-5069. 6p.
- Riley, D. G. and E. King. 1994. Biology and Management of the Pepper Weevil: A Review. Trends in Agricultural Science 2: 109-121.
- Riley, D. G., D. J. Schuster and C. S. Bartfield. 1992. Sampling and dispersion of pepper weevil adults, *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera:Curculionidae). Environmental Entomology 21:1013-1021.
- Robertson, J. L., R. M. Russel, H. K. Preisler and E. Savin. 2007. Bioassay with Arthropods. Second edition. CRC Press. Boca Raton, Fl. USA. 224 p.
- Rodríguez, M. J. C., G. Silva y P. Guzmán. 2009. El Bioensayo con Plaguicidas en Artrópodos. En: Bautista, M.N., L. Soto y R. Pérez (Ed.). Tópicos Selectos de Estadística aplicados a la Fitosanidad. Colegio de Postgraduados, IPN CIIDIR Oaxaca. Pp. 129-158.
- Rodríguez-Leyva, E., J. R. Lomelí-Flores, J. M. Valdez-Carrasco, R. W. Jones and P. A. Stansly. 2012. New Records of species and locations of parasitoids of the pepper weevil in Mexico. Southwestern Entomologist 37(1): 73-83.

- Rodríguez-Leyva, E., P. A. Stansly, D. J. Schuster and E. Bravo-Mosqueda. 2007. Diversity and distribution of parasitoids of *Anthonomus eugenii* (Coleóptera: Curculionidae) from Mexico and prospects for biological control. *Florida Entomologist* 90: 693-702.
- Rolston, L. H. 1977. Insecticide test in laboratory and field against the pepper weevil, *Anthonomus eugenii* Cano. *J. Ga. Entomol. Soc.* 12: 114-117.
- Ronco, A., M. C. Díaz-Báez y Y. Pica. 2004. Conceptos generales. En: G. Castillo (Ed.). *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones.* Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. México. pp 17-22.
- Rosell, G., C. Quero, J. Coll, and A. Guerrero. 2008. Biorational insecticides in pest management. *J. Pestic. Sci.* 33: 103-121.
- Ruíz, S. E., O. Aguilar, A. J. Cristóbal, S. Tun, M. L. Latournerie y G. A. Pérez. 2009. Comparación de la efectividad de un insecticida botánico y dos químicos convencionales en el control del picudo (*Anthonomus eugenii* Cano) (Coleóptera: Curculionidae) en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Fitosanidad* 13(2): 117-120.
- SAS Institute. 2008. *SAS/STAT® 9.2 User's Guide: The PROBIT Procedure (Book Excerpt)*. Cary, NC: SAS Institute Inc. pp. 5249-5360.
- SAS Institute. 2011. *Base SAS® 9.3 Procedures Guide: Statistical Procedures*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Saunders, J. L., D. T. Coto y A. B. King. 1998. *Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central*. 2ª Ed. CATIE. Turrialba Costa Rica.
- Seal, D. R. and D. J. Schuster. 1995. Control of pepper weevil, *Anthonomus eugenii*, in West-Central and South Florida. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 108: 220-225.
- Servín, R., J. L. García y D. E. Troyo. 2007. *Buenas prácticas en el manejo plagas para una agricultura, ganadería y producción forrajera sostenible en zonas áridas*. Editorial Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz B.C.S. México. 85 p.
- Servín, R., R. Aguilar, J. L. Martínez, E. Troyo and A. Ortega. 2002. Monitoring of resistance to three insecticides on pepper weevil (*Anthonomus eugenii*) in populations from Baja California Sur, Mexico. *Interciencia* 27(12): 691-694.

- Servín, V. R. y R. Aguilar. 2000. Bioensayos toxicológicos en picudos del chile *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) por exposición residual en Baja California Sur, México. *Folia Entomológica Mexicana* 109: 117-118.
- Servín, V. R., J. L. García, A. Tejas, J. L. Martínez y M. A. Toapanta. 2008. Susceptibility of Pepper Weevil (*Anthonomus eugenii* Cano) (Coleoptera: Curculionidae) to seven insecticides in rural areas of Baja California Sur, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana* 24(3): 45-54.
- SIAP. 2016. Anuario estadístico de la producción agrícola 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México. Disponible en [www.infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://www.infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp). Accesado junio 19 de 2016.
- SIAP. 2017. Anuario estadístico de la producción agrícola 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México. Disponible en [www.infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://www.infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp). Accesado febrero 11 de 2017.
- Speranza, S., E. Colonnelli, G. A. Pietro and S. Laudonia. 2014. First record of *anthonomus eugenii* (coleoptera: Curculionidae) in Italy. *Florida Entomologist* 97(2): 844-845.
- Toapanta, M. A., D. J. Schuster and P. A. Stansly. 2005. Development and life history of *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) at constant temperatures. *Environmental Entomology* 34(5): 999-1008.
- Torres-Ruíz, A. y E. Rodríguez-Leyva. 2012. Guía para el manejo integrado de plagas del pimiento bajo invernadero, con énfasis en el picudo del chile. Koppert México S.A. de C.V. 48 p.
- Van deer Gaag, D. J. and A. Loomans. 2013. Pest risk analysis for *Anthonomus eugenii*. Netherlands Food and Consumer Product Safety Authority Utrecht, the Netherlands. 64 p. Disponible en [www.nvwa.nl/txmpub/files/?p\\_file\\_id= 2203788](http://www.nvwa.nl/txmpub/files/?p_file_id= 2203788). Accesado diciembre 14 de 2014.
- Velasco, P. H. 1969. Evaluación de pérdidas, preferencia de ovoposición del picudo o barrenillo del chile (*Anthonomus eugenii* Cano), efectividad de varios insecticidas y reacción de diferentes variedades a su ataque. *Agricultura técnica en México* 2: 499-507.
- Votava, E. J., J. B. Baral y P. W. Bosland. 2005. Genetic diversity of chile (*Capsicum annuum* var. *annuum* L.), landraces from northern New Mexico, Colorado, and Mexico. *Economic Botany* 59: 8-17.

- Whalon, M. E., D. Mota-Sanchez, R. M. Hollingworth and L. Duynslager. 2008. Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University Extension. Disponible en <http://www.pesticideresistance.org/>. Accesado agosto 3 de 2016.
- Wilson, R. J. 1986. Observations on the Behavior and Host Relations of the Pepper Weevil *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) in Florida. M. S. Thesis, University of Florida. 94 p.
- Young-Joon, K; Si-Hyeock L; Si-Woo L, Young-Joon A. 2004. Fenpyroximate resistance in *Tetranychus urticae* (Acari:Tetranychidae): cross-resistance and biochemical resistance mechanism. Pest. Manag. Sci. 60: 1001-1006.