

Susceptibilidad a plaguicidas de la polilla de las crucíferas (*Plutella xylostella* L.) (Lepidoptera: Plutellidae) en el centro de México

José Francisco Rodríguez-Rodríguez¹, Ernesto Cerna-Chávez², Yisa María Ochoa-Fuentes^{2,*}, Jerónimo Landeros-Flores² y Luis Patricio Guevara-Acevedo³

¹ Estudiante de Doctorado en Ciencias en Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonia Narro. Calzada Antonio Narro 1923, 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

² Universidad Autónoma Agraria Antonia Narro. Calzada Antonio Narro 1923, 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

³ Instituto Tecnológico de Roque, Km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, Apartado Postal 508, 38110, Celaya; Guanajuato, México

Resumen

Plutella xylostella es la plaga más importante en el cultivo del brócoli. Ocasiona incrementos significativos en los costes de producción y afecta a la calidad del producto que puede llegar a ser rechazado para su exportación. En México, el control de esta plaga se basa principalmente en el empleo de plaguicidas químicos, lo que aumenta la presencia de residuos en el producto comestible, así como el riesgo de aparición de resistencia a los plaguicidas. Por ello, se realizaron bioensayos para determinar la susceptibilidad de larvas de tercer estadio de *P. xylostella* a spinosad, abamectina, fipronil, cipermetrina, lambda cyhalotrina, imidacloprid, indoxacarb y chlorphenapyr sobre seis poblaciones del centro de México y una línea susceptible para detectar la posible presencia de fenómenos de resistencia. Los resultados muestran que las poblaciones de San Luis de la Paz y Valle de Santiago presentan problemas de resistencia para cipermetrina, mientras que el resto de las poblaciones muestran una tendencia al desarrollo de resistencias contra este insecticida. Para el resto de los plaguicidas evaluados no se observaron problemas de resistencia en larvas de tercer estadio de ninguna de las poblaciones en estudio.

Palabras clave: Cipermetrina, fipronil, abamectina, indoxacarb, resistencia.

Insecticide Susceptibility of the Diamondback Moth (*Plutella xylostella* L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in central Mexico

Abstract

Plutella xylostella is the most important pest in broccoli cultivation, causing significant increases in production costs, by affecting the quality of the product that is rejected for export. In Mexico, the control of this pest is based mainly on chemical pesticides, which increases the presence of residues in the edible product, as well as the development of resistance to pesticides. Therefore, resistance tests were ca-

* Autor para correspondencia: yisa8a@yahoo.com

Cita del artículo: Rodríguez-Rodríguez JF, Cerna-Chávez E, Ochoa-Fuentes YM, Landeros-Flores J, Guevara-Acevedo LP (en prensa). Susceptibilidad a plaguicidas de la polilla de las crucíferas (*Plutella xylostella* L.) (Lepidoptera: Plutellidae) en el centro de México. ITEA-Información Técnica Económica Agraria. Vol. xx: 1-14. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.014>

ried out to determine the susceptibility of third instar larvae of *P. xylostella* to spinosad, abamectin, fipronil, cypermethrin, lambda cyhalothrin, imidacloprid, indoxacarb and chlorphenapyr on six populations of the central Mexico and one susceptible line. The results show that the populations of San Luis de la Paz and Valle de Santiago present resistance problems for cypermethrin, while the rest of the populations show a tendency to develop resistance against this insecticide. For the rest of the pesticides evaluated, there are no resistance problems in third instar larvae of any of the populations under study.

Keywords: Cypermethrin, fipronil, abamectin, indoxacarb, resistance.

Introducción

El cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.) es socioeconómicamente importante en la región del Bajío en México (Montesinos, 2005), siendo el estado de Guanajuato el principal productor, aportando el 63 % de la producción nacional con un valor de \$ 1.791.255 MXN (SIAP, 2017a). Este cultivo representa una importante fuente de divisas y significativos beneficios para los productores (Bujanos-Muñoz et al., 2013) ya que el 80 % de su producción se destina a la exportación, siendo Estados Unidos su principal mercado en ventas internacionales (SIAP, 2017b). *Plutella xylostella* (L.) es la plaga más importante a nivel mundial en los cultivos de crucíferas (Fathi et al., 2011; Zalucki et al., 2012; Fathipour et al., 2019). Ocasiona incrementos significativos en los costes de producción (Li et al., 2016), ya que es una especie altamente migratoria y muy destructiva (Heckel, 2006). Afecta al crecimiento y desarrollo de la planta generando malformaciones, pudiendo incluso llegar a causar su muerte. Sin embargo, su principal daño es el de afectar a la calidad del producto debido a la presencia de huevos y larvas que ocasiona su rechazo para la exportación (Da Silva Carvalho, 2008). Actualmente, en México, el control de la polilla de las crucíferas se basa principalmente en el empleo de plaguicidas químicos de amplio espectro (Tabone et al., 2010 y 2012; Ferreira et al., 2020). Desafortunadamente, la mayoría de esos plaguicidas son dañinos para el medio ambiente y se ha observado que producen múltiples efectos secundarios en ar-

trópodos benéficos (depredadores, parasitoides y polinizadores) (Biondi et al., 2012; Lu et al., 2012; Ndakidemi et al., 2016). Por otro lado, se pueden provocar efectos adversos para la salud humana por la presencia de sus residuos en el producto comestible, así como para el personal de campo (Bujanos-Muñoz et al., 2013; Shoaib et al., 2018). Además, debido al uso excesivo e inadecuado de este tipo de plaguicidas, la polilla de las crucíferas ha desarrollado resistencia a varios de los productos utilizados para su control (Talekar y Shelton, 1993; Tabashnik, 1994; Sun et al., 2012; APRD, 2020). De acuerdo con la Arthropod Pesticide Resistance Data base (APRD), para el año 2020 *P. xylostella* había desarrollado resistencia a, aproximadamente, 95 compuestos con diferentes modos de acción, incluyendo: organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, análogos de nereistoxina, benzoilureas, *Bacillus thuringiensis*, avermectinas, spinosinas, fenilpirazoles, indoxacarb, diacilhidrazinas y diamidas (APRD, 2020). Por todo ello, resulta necesario adoptar técnicas y tácticas para controlar a *P. xylostella* que, siendo económicamente satisfactorias, presenten menos efectos secundarios (Campos et al., 2019). En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue generar conocimientos sobre la posible existencia de resistencia a plaguicidas de diferentes grupos toxicológicos en larvas de tercer estadio de la polilla de las crucíferas en México mediante la determinación de la susceptibilidad frente a ellos, de seis poblaciones de *P. xylostella* del estado del centro de México.

Material y métodos

Ubicación del experimento

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Fitosanidad del Departamento de Ciencias Agropecuarias del Instituto Nacional de México, Instituto Tecnológico de Roque en Celaya, Guanajuato, México.

Plaguicidas

Se evaluaron los ocho plaguicidas químicos siguientes, representantes de subgrupos toxicológicos diversos: Glance® (abamectina), Entrust® SC (spinosad), Confidor® 70 WG (imi-

dacloprid), Sunfire® 2 SC (chlorphenapyr), Cipermetrina® 200 CE (cipermetrina), Avaunt® EC (indoxacarb), Pateador® 5 EC (fipronil) y Lamdex® 5 EC (lambda cyhalotrina) (Tabla 1). Cada producto se evaluó a 6 dosis las cuales se determinaron en ensayos preliminares para que cubrieran una ventana biológica que comprendía mortalidades de 0-100 %.

Poblaciones de *Plutella xylostella*

Se estudiaron seis poblaciones de *P. xylostella* capturadas en el Estado de Guanajuato en las localidades siguientes: Valle de Santiago, Celaya, San José Iturbide, San Luis de la Paz, Abasolo y Juventino Rosas.

Tabla 1. Plaguicidas evaluados en diferentes poblaciones de *Plutella xylostella* del Estado de Guanajuato, México.

Table 1. Pesticides evaluated in different populations of *Plutella xylostella* from the State of Guanajuato, Mexico.

Plaguicida	Ingrediente activo	Subgrupo químico	Sitio de acción
Glance®	Abamectina	Avermectinas	Moduladores alostéricos del canal de cloruro regulado por glutamato.
Entrust® SC	Spinosad	Spinosinas	Moduladores alostéricos del receptor nicotínico de acetilcolina.
Confidor® 70 WG	Imidacloprid	Neonicotinoide	Moduladores competitivos del receptor nicotínico de acetilcolina.
Sunfire® 2 SC	Chlorphenapyr	Pirroles	Desacopladores de la fosforilación oxidativa a través de la interrupción del gradiente de protones.
Cipermetrina® 200 CE	Cipermetrina	Piretroide	Moduladores del canal de sodio.
Avaunt® EC	Indoxacarb	Oxidiazinas	Bloqueadores de los canales de sodio dependientes del voltaje.
Pateador® 5 EC	Fipronil	Fenilpirazol	Bloqueadores de los canales de cloruro activados por GABA.
Lamdex® 5 EC	Lambda cyhalotrina	Piretroide	Moduladores del canal de sodio.

Fuente: IRAC (2017).

Colecta de material biológico en campo

La colecta de los individuos se realizó de forma manual en lotes comerciales del cultivo de brócoli en las localidades antes mencionadas. Se colectaron larvas, pupas y adultos de *P. xylostella* y se trasladaron a cajas entomológicas (60 cm × 40 cm × 40 cm) en condiciones controladas de laboratorio (25 ± 2 °C, 65 % HR y 16:8 horas luz:oscuridad). Las larvas fueron alimentadas con plantas de brócoli de 50 días de edad, las cuales eran cambiadas cada 2 días; los adultos se alimentaron con una solución azucarada al 15 %, con la finalidad de asegurar su apareamiento y la oviposición. Los individuos de cada población se reprodujeron hasta F3 de modo que se pudiera disponer de suficientes larvas para su posterior estudio. Para la población susceptible se utilizaron individuos proporcionados por el Campo Experimental Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), reproducidos desde 1996 sin presión de selección por plaguicidas.

Bioensayos

Para la evaluación de los plaguicidas se empleó el método de la película residual (IRAC, 2017), utilizando larvas de tercer estadio de un día de edad *P. xylostella* seleccionadas con base a lo descrito por Bujanos-Muñiz et al. (2013). El método consiste en sumergir una hoja de una planta de brócoli de 40-50 días de edad en cada una de las soluciones en estudio por un tiempo de 10 s. Después se deja secar en papel absorbente durante una hora para eliminar excesos. Posteriormente se obtienen discos de esas hojas y son colocados en placas Petri provistas de papel absorbente saturado con agua y a cada uno de ellos se transfieren 10 larvas de *P. xylostella* mediante un pincel de pelo de camello 000. Todo el conjunto se colocó en una cámara climática a 27 °C, 50 % de humedad relativa

(HR) y un fotoperiodo de 16:8 h luz:oscuridad. A las 24 h a partir del inicio del experimento se realizaron conteos de mortalidad de las larvas. El criterio utilizado para considerar que los individuos estaban muertos, fue el de estimularlos con un pincel de pelo de camello 000 en la parte dorsal, de modo que todo aquel que no respondía a dicho estímulo fue considerado como muerto. Se utilizó un diseño experimental al azar con 6 tratamientos y 1 tratamiento testigo blanco tratado con agua más adherente (1 mL L⁻¹), con 4 repeticiones por tratamiento.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos en los bioensayos se obtuvo la mortalidad corregida Abbott (Abbott, 1925). Los resultados de la corrección de mortalidad se sometieron a un Análisis Probit (Finney, 1971) para obtener la curva de respuesta concentración-mortalidad y así obtener la recta de regresión ponderada probit y, junto con otros datos, la concentración letal media (CL₅₀). Para ello se utilizó el programa estadístico computacional SAS System. Una vez obtenida la CL₅₀ para las líneas de campo y la línea susceptible, se determinó la proporción de resistencia dividiendo los valores de la concentración letal media de las líneas de campo por la concentración letal media de la línea susceptible (Georghiou, 1962). En el presente artículo se considera que una población presenta problemas de resistencia cuando presenta una proporción de resistencia mayor o igual a 10.

Resultados

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en el análisis probit sobre la caracterización de la actividad plaguicida de los ocho compuestos ensayados sobre las larvas de tercer estadio de *P. xylostella* pertene-

Tabla 2. Parámetros de la recta de regresión ponderada probit para la mortalidad de larvas de tercer estadio de la línea susceptible de *Plutella xylostella*, tratadas con los ocho plaguicidas ensayados.
 Table 2. Parameters of the probit weighted regression line for the mortality of third instar larvae of the susceptible line of *Plutella xylostella*, treated with eight pesticides tested.

Insecticida	CL ₅₀ (ppm)	LFI-LFS	CL ₉₀ (ppm)	Ecuación Predicción	P
Cipermetrina	43,2	26,7-78,5	143,4	$y = -4,0266 + 2,4614x$	<0,0001
Imidacloprid	1054	962,3-1147	3677	$y = -9,1598 + 3,0303x$	<0,0001
Lambda cyhalotrina	289,4	246,8-334,3	605,8	$y = -9,8338 + 3,9950x$	<0,0001
Spinosad	2,7	1,4-4,7	24,3	$y = -0,5892 + 1,3485x$	<0,0001
Fipronil	0,09	0,04-0,1	0,6	$y = 1,5829 + 1,5715x$	<0,0001
Indoxacarb	10,1	4,3-21	237,2	$y = -0,9392 + 0,9350x$	<0,0001
Chlorphenapyr	3,3	2,5-4,3	10,9	$y = -2,3798 + 3,0188x$	<0,0001
Abamectina	0,7	0,2-1,8	10,4	$y = 0,1531 + 1,1074x$	<0,0001

LFI: Limite Fiducial Inferior; LFS: Limite Fiducial superior; CL₅₀: Concentración Letal Media; CL₉₀: Concentración Letal al 90 %.

cientes a la línea susceptible (LS). Para la línea de campo de San Luis de la Paz, el insecticida cipermetrina presentó la proporción de resistencia más alta con un factor de 12,2 respecto a la línea susceptible, por lo que se puede considerar a esta línea de campo con problemas de resistencia a cipermetrina. Por su parte, el resto de plaguicidas evaluados muestran proporciones de resistencia menores de 3 (Tabla 3). En el caso de la línea de campo de San José Iturbide, para ninguno de los plaguicidas se superó el valor de 10 para la proporción de resistencia respecto a la línea susceptible (Tabla 4), siendo la cipermetrina el plaguicida para el que se obtuvo el valor más alto (7,3), aunque no se pueda considerar que se trate de una línea resistente a este insecticida. Para el resto de los plaguicidas restantes la proporción de resistencia no superó el valor de 2. Cipermetrina e indoxacarb presentaron las proporciones

de resistencia más altas en el caso de la línea capturada en el Valle de Santiago, con valores de 11,4 y 4,4 respectivamente (Tabla 5). En el caso de la cipermetrina se deben tener en cuenta problemas de resistencia en esta zona productora. Por su parte, indoxacarb aún no muestra problemas de resistencia, pero se deben contemplar posibles problemas futuros si no se tiene un manejo adecuado de este plaguicida. Para las líneas de campo de Abasolo (Tabla 6), Celaya (Tabla 7) y Juventino Rosas (Tabla 8) no se detectaron problemas de resistencia a los plaguicidas evaluados. Sin embargo, se observa una tendencia al desarrollo de resistencia en el caso de la cipermetrina con proporciones de resistencia de 5,7; 9,0 y 9,7; respectivamente. En el caso de las líneas capturadas en Celaya y Juventino Rosas también se observó una ligera tendencia al desarrollo de resistencia a fipronil, con una proporción de resistencia de 4,9 y 4,2; respectivamente.

Tabla 3. Parámetros de la recta de regresión ponderada probit para la mortalidad de larvas de tercer estadio de *Plutella xylostella* capturadas en San Luis de la Paz, tratadas con los ocho plaguicidas ensayados, y proporción de resistencia respecto a la línea susceptible.

Table 3. Parameters of the probit weighted regression line for the mortality of third instar larvae of *Plutella xylostella* captured in San Luis de la Paz, treated with eight pesticides tested, and resistance ratio with respect to the susceptible line.

Insecticida	CL ₅₀ (ppm)	LFI-LFS	CL ₉₀ (ppm)	Ecuación Predicción	P.R.	P
Cipermetrina	528,2	433,0-664,7	1099	$y = -10,9634 + 4,0264x$	12,2	<0,0001
Imidacloprid	1019	895,2-1149	5881	$y = -6,4973 + 2,1600x$	0,9	<0,0001
Lambda cyhalotrina	414	335,1-524,2	907,7	$y = -9,8381 + 3,7592x$	1,4	<0,0001
Spinosad	3,2	1,2-7,1	26,3	$y = -0,7133 + 1,4042x$	1,2	<0,0001
Fipronil	0,2	0,1-0,5	3,0	$y = 0,6774 + 1,2355x$	2,9	<0,0001
Indoxacarb	18,5	8,8-35,4	267,6	$y = -1,4000 + 1,1046x$	1,8	<0,0001
Chlorphenapyr	4,7	4,1-5,4	20,0	$y = -1,3876 + 2,0493x$	1,4	<0,0001
Abamectina	1,8	0,9-4,2	45,7	$y = -0,2360 + 0,9140x$	2,5	<0,0001

LFI: Limite Fiducial Inferior; LFS: Limite Fiducial superior, P.R.: Proporción de resistencia con respecto a la línea susceptible. CL₅₀: Concentración Letal Media; CL₉₀: Concentración Letal al 90 %.

Tabla 4. Parámetros de la recta de regresión ponderada probit para la mortalidad de larvas de tercer estadio de *Plutella xylostella* capturadas en San José Iturbide, tratadas con los ocho plaguicidas ensayados, y proporción de resistencia respecto a la línea susceptible.

Table 4. Parameters of the probit weighted regression line for the mortality of third instar larvae of *Plutella xylostella* captured in San José Iturbide, treated with eight pesticides tested, and resistance ratio with respect to the susceptible line.

Insecticida	CL ₅₀ (ppm)	LFI-LFS	CL ₉₀ (ppm)	Ecuación Predicción	P.R.	P
Cipermetrina	317,5	226,6-452,4	649,09	$y = -10,3261 + 4,1274x$	7,3	<0,0001
Imidacloprid	1227	882,1-1620	4849	$y = -6,6325 + 2,1472x$	1,2	<0,0001
Lambda cyhalotrina	401,8	329,6-494,1	790,4	$y = -11,3589 + 4,3620x$	1,4	<0,0001
Spinosad	3,0	1,3-6,2	24,8	$y = -0,6925 + 1,4155x$	1,1	<0,0001
Fipronil	0,1	0,04-0,2	0,9	$y = 1,3390 + 1,4062x$	1,1	<0,0001
Indoxacarb	17,2	12,8-22,9	371,4	$y = -1,1881 + 0,9610x$	1,7	<0,0001
Chlorphenapyr	4,5	2,8-6,7	20,01	$y = -1,3284 + 2,0056x$	1,4	<0,0001
Abamectina	1,3	0,5-4,1	73,2	$y = -0,1055 + 0,7438x$	1,9	<0,0001

LFI: Limite Fiducial Inferior; LFS: Limite Fiducial superior; P.R.: Proporción de resistencia respecto a la línea susceptible. CL₅₀: Concentración Letal Media; CL₉₀: Concentración Letal al 90 %.

Tabla 5. Parámetros de la recta de regresión ponderada probit para la mortalidad de larvas de tercer estadio de *Plutella xylostella* capturadas en Valle de Santiago, tratadas con los ocho plaguicidas ensayados, y proporción de resistencia respecto a la línea susceptible.

Table 5. Parameters of the probit weighted regression line for the mortality of third instar larvae of *Plutella xylostella* captured in Valle de Santiago, treated with eight pesticides tested, and resistance ratio with respect to the susceptible line.

Insecticida	CL ₅₀ (ppm)	LFI-LFS	CL ₉₀ (ppm)	Ecuación Predicción	P.R.	P
Cipermetrina	491,7	368,8-701,1	1056	$y = -10,3983 + 3,8630x$	11,4	<0,0001
Imidacloprid	1054	962,3-1147	2790	$y = -9,1598 + 3,0303x$	1	<0,0001
Lambda cyhalotrina	331,7	209,2-496,8	1075	$y = -6,3253 + 2,5093x$	1,1	<0,0001
Spinosad	2,5	1,9-3,1	34,5	$y = -0,4487 + 1,1243x$	0,9	<0,0001
Fipronil	0,2	0,1-0,2	6,5	$y = 0,5819 + 0,8570x$	2,1	<0,0001
Indoxacarb	43,9	22,6-86,5	468,1	$y = -2,0507 + 1,2478x$	4,4	<0,0001
Chlorphenapyr	4,1	1,7-7,1	19,7	$y = -1,1530 + 1,8797x$	1,2	<0,0001
Abamectina	1,1	0,4-2,8	15,3	$y = -0,0695 + 1,1393x$	1,6	<0,0001

LFI: Limite Fiducial Inferior; LFS: Limite Fiducial superior; P.R.: Proporción de resistencia con respecto a la línea susceptible. CL₅₀: Concentración Letal Media; CL₉₀: Concentración Letal al 90 %.

Tabla 6. Parámetros de la recta de regresión ponderada probit para la mortalidad de larvas de tercer estadio de *Plutella xylostella* capturadas en Abasolo, tratadas con los ocho plaguicidas ensayados, y proporción de resistencia respecto a la línea susceptible.

Table 6. Parameters of the probit weighted regression line for the mortality of third instar larvae of *Plutella xylostella* captured in Abasolo, treated with eight pesticides tested, and resistance ratio with respect to the susceptible line.

Insecticida	CL ₅₀ (ppm)	LFI-LFS	CL ₉₀ (ppm)	Ecuación Predicción	P.R.	P
Cipermetrina	245,4	219,0-273,3	822,3	$y = -10,1825 + 3,9325x$	5,7	<0,0001
Imidacloprid	1156	1043-1279	3749	$y = -6,2469 + 2,3898x$	1,1	<0,0001
Lambda cyhalotrina	382,2	298,8-507,5	965,8	$y = -8,3006 + 3,2102x$	1,3	<0,0001
Spinosad	1,5	0,5-3,0	13,9	$y = -0,2372 + 1,3284x$	0,6	<0,0001
Fipronil	0,1	0,09-0,2	1,4	$y = 1,0835 + 1,3376x$	1,6	<0,0001
Indoxacarb	14,5	7,0-28,5	428,8	$y = -1,0162 + 0,8729x$	1,4	<0,0001
Chlorphenapyr	4,7	3,9-5,6	37,1	$y = -0,9785 + 1,4401x$	1,4	<0,0001
Abamectina	2,4	2,0-3,0	22,4	$y = -0,5165 + 1,3302x$	3,4	<0,0001

LFI: Limite Fiducial Inferior; LFS: Limite Fiducial superior; P.R.= Proporción de resistencia con respecto a la línea susceptible. CL₅₀: Concentración Letal Media; CL₉₀: Concentración Letal al 90 %.

Tabla 7. Parámetros de la recta de regresión ponderada probit para la mortalidad de larvas de tercer estadio de *Plutella xylostella* capturadas en Celaya, tratadas con los ocho plaguicidas ensayados, y proporción de resistencia respecto a la línea susceptible.

Table 7. Parameters of the probit weighted regression line for the mortality of third instar larvae of *Plutella xylostella* captured in Celaya, treated with eight pesticides tested, and resistance ratio with respect to the susceptible line.

Insecticida	CL ₅₀ (ppm)	LFI-LFS	CL ₉₀ (ppm)	Ecuación Predicción	P.R.	P
Cipermetrina	388,4	330,8-464,4	822,6	$y = -10,1825 + 3,9325x$	9,0	<0,0001
Imidacloprid	411,1	367,5-457,7	1413	$y = -6,2469 + 2,3898x$	0,4	<0,0001
Lambda cyhalotrina	457,6	425,6-494,5	13,7	$y = -10,1208 + 3,8041x$	1,6	<0,0001
Spinosad	5,1	3,3-8,5	22,7	$y = -0,8572 + 1,2006x$	1,9	<0,0001
Fipronil	0,4	0,3-0,6	5,6	$y = 0,3786 + 1,1954x$	4,9	<0,0001
Indoxacarb	36,4	26,5-50,7	1151	$y = -1,3343 + 0,8546x$	3,6	<0,0001
Chlorphenapyr	5,6	1,7-9,4	22,7	$y = -1,6016 + 2,1234x$	1,7	<0,0001
Abamectina	0,6	0,3-1,3	13,7	$y = 0,1546 + 0,9911x$	1,0	<0,0001

LFI: Limite Fiducial Inferior; LFS: Limite Fiducial superior; P.R.: Proporción de resistencia con respecto a la línea susceptible. CL₅₀: Concentración Letal Media; CL₉₀: Concentración Letal al 90 %.

Tabla 8. Parámetros de la recta de regresión ponderada probit para la mortalidad de larvas de tercer estadio de *Plutella xylostella* capturadas en Juventino Rosas, tratadas con los ocho plaguicidas ensayados, y proporción de resistencia respecto a la línea susceptible.

Table 8. Parameters of the probit weighted regression line for the mortality of third instar larvae of *Plutella xylostella* captured in Juventino Rosas, treated with eight pesticides tested, and resistance ratio with respect to the susceptible line.

Insecticida	CL ₅₀ (ppm)	LFI-LFS	CL ₉₀ (ppm)	Ecuación Predicción	P.R.	P
Cipermetrina	420,0	345,9-524,3	783,7	$y = -12,4133 + 4,7319x$	9,7	<0,0001
Imidacloprid	1054	962,3-1147	2790	$y = -9,1598 + 3,0303x$	1	<0,0001
Lambda cyhalotrina	375,3	319,4-445,1	451,4	$y = -9,5010 + 3,6905x$	1,3	<0,0001
Spinosad	4,3	3,5-5,3	834,9	$y = -0,8059 + 1,2616x$	1,6	<0,0001
Fipronil	0,4	0,2-0,7	153,8	$y = 0,4174 + 1,0696x$	4,2	<0,0001
Indoxacarb	11,3	5,1-21,9	64,2	$y = -1,1981 + 1,1338x$	1,1	<0,0001
Chlorphenapyr	7,3	5,3-10,1	32,7	$y = -1,7094 + 1,9746x$	2,2	<0,0001
Abamectina	0,7	0,4-1,2	17,7	$y = 0,1022 + 0,9432x$	1,1	<0,0001

LFI: Limite Fiducial Inferior; LFS: Limite Fiducial superior; P.R.: Proporción de resistencia con respecto a la línea susceptible. CL₅₀: Concentración Letal Media; CL₉₀: Concentración Letal al 90 %.

Discusión

La susceptibilidad a plaguicidas en poblaciones criadas en laboratorio se puede ver influenciada por diferentes factores, como el tiempo sin exposición a plaguicidas, así como también su ubicación geográfica y las condiciones en las cuales son mantenidas. Wang et al. (2019) menciona que un coste de aptitud puede reducir el nivel de resistencia en una población cuando se elimina la presión de selección del plaguicida porque los efectos negativos de la pleiotropía se expresan con mayor fuerza. Este puede ser uno de los motivos por los que en los resultados obtenidos en esta investigación, las CL_{50} de los plaguicidas evaluados sobre la línea susceptible de *P. xylostella* difieren a lo descrito en investigaciones previas. Para cipermetrina, Shao et al. (2013) calcularon una CL_{50} de 3,55 ppm en una línea susceptible de *P. xylostella*. En lo referente a imidacloprid (CL_{50} de 1054 ppm) es 219,5 veces mayor al resultado obtenido por Ninsin (2004) en un insecticida neonicotinoide (acetamiprid) en la línea susceptible KOBII-NS. Para lambda cyhalotrina, la CL_{50} fue 289,45 ppm, siendo este resultado inferior a lo descrito por Bujanos-Muñiz et al. (2003) en otra línea susceptible donde determinaron una CL_{50} de 850 ppm. Por su parte Balasubramani et al. (2008) encontraron una CL_{50} de 10 ppm para la línea susceptible Lab-UK. En relación al spinosad, la CL_{50} de 2,73 ppm superó a lo observado en otras líneas susceptibles, con valores de 0,004 ppm (Barrera-Urzúa et al., 2006) y 0,120 ppm (Shao et al., 2013). La CL_{50} de Fipronil fue 0,09 ppm que resulta ser 2,2 veces más alto en comparación a otra línea susceptible evaluada por Barrera-Urzúa et al. (2006) para este mismo insecticida. Mohan y Gujar (2003) calcularon una CL_{50} de 0,22 ppm en la línea susceptible IARI 17-65. En relación al insecticida indoxacarb, se determinó una CL_{50} de 10,10 ppm resultando ser mayor a la obtenida con otras líneas susceptibles por otros

autores. Así, Barrera-Urzúa et al. (2006), Shao et al. (2013), Santos et al. (2011) obtuvieron valores de 0,46 ppm; 0,52 ppm, y 0,2 ppm, respectivamente. Chlorphenapyr presentó una CL_{50} de 3,38 ppm superando en 8,4 veces el valor descrito por Shao et al. (2013). En el caso de abamectina, la CL_{50} (0,72 ppm) superó los resultados obtenidos por Shao et al. (2013) y Santos et al. (2011) que encontraron valores de 0,02 ppm y 0,01 ppm respectivamente.

El uso de productos de síntesis química es el principal método de control de *P. xylostella*. Por ello, el monitoreo de la resistencia a los plaguicidas se ha de convertir en uno de los factores más importantes a la hora de aplicar las estrategias de manejo de *P. xylostella* (Guo et al., 2014; Sparks y Nauen, 2015). El desarrollo de la resistencia de *P. xylostella* a plaguicidas se ve influenciado por la frecuencia de aplicación de los mismos, por la utilización repetida de cultivos de Brassicaceae y por la capacidad de variación genética de las poblaciones de la plaga (Meghana et al., 2018). El monitoreo de la resistencia genera información sobre las respuestas naturales de las poblaciones de *P. xylostella* a los plaguicidas y sobre la identificación de áreas geográficamente homogéneas con problemas de resistencia (Zhang et al., 2016). En la presente investigación se evaluó el estado actual de la resistencia a ocho plaguicidas en diferentes poblaciones de *P. xylostella* en el estado de Guanajuato. La cipermetrina resultó mostrar los valores de la proporción de resistencia más altos en cada una de las poblaciones en estudio en comparación con la línea susceptible. En ello puede influir la migración de adultos resistentes a cipermetrina, considerando que *P. xylostella* es una plaga altamente migratoria (Furlong et al., 2013). Jiang et al., (2015) hallaron proporciones de resistencia mayores a 25,1 en líneas de campo para cipermetrina. Por su parte Zhang et al. (2016) obtuvieron una proporción de resis-

tencia superior a 69,76 veces en comparación a línea susceptible para este mismo insecticida, mientras que Bujanos-Muñiz et al. (2003) no encontraron problemas de resistencia (proporción de resistencia igual a 8) para una línea de campo de *P. xylostella* en el estado de Guanajuato. Estos resultados difieren a lo obtenido en este estudio, donde se encontró resistencia a cipermetrina en las líneas San Luis de la Paz (proporción de resistencia de 12,2) y Valle de Santiago (proporción de resistencia de 11,4), mientras que el resto de las líneas evaluadas presentan una tendencia a generar resistencia, demostrando que, en términos generales, se ha producido una pérdida de eficacia de la cipermetrina en el estado de Guanajuato.

Por otra parte, el resto de los plaguicidas evaluados (imidacloprid, lambda cyhalotrina, spinosad, indoxacarb, chlorphenapyr, abamectina y fipronil) presentaron una alta eficacia al obtenerse proporciones de resistencia por debajo de 5 para todas las poblaciones en estudio en comparación con línea susceptible. Ninsin (2004) obtuvo una proporción de resistencia de 77,3 para un insecticida neonicotinoide (acetamiprid), lo cual difiere a lo encontrado en esta investigación donde también se evaluó un insecticida del mismo grupo toxicológico (imidacloprid) y se obtuvo una proporción de resistencia máxima de 1,2 veces (San José Iturbide). Balasubramani et al. (2008) obtuvieron proporción de resistencia (107) para lambda cyhalotrina en líneas de campo de *P. xylostella*, por otro lado Bujanos-Muñiz et al. (2003) en un estudio sobre una línea de campo del estado de Guanajuato, no encontraron resistencia de este insecticida en *P. xylostella* (proporción de resistencia igual a 1), lo cual concuerda con los resultados de esta investigación donde no se muestran problemas de resistencia con un valor máximo de 1,6 (Celaya). En relación al spinosad, Jiang et al. (2015) y Zhang et al. (2016) describieron la aparición de fenómenos de resistencia en diferentes líneas de

campo de *P. xylostella* con valores máximos de la proporción de resistencia de 34,4 y 21,4; respectivamente. Por su parte, Barrera-Urzúa et al. (2006) obtuvieron proporciones de resistencia de 12,5 y 10 para líneas de campo del estado de Guanajuato, superando lo encontrado en este estudio donde la proporción de resistencia más alta para spinosad fue de 1,9. Esto puede significar una disminución en la resistencia de *P. xylostella* en el estado de Guanajuato a spinosad, lo cual se puede atribuir a la puesta en práctica de sistemas de manejo de la resistencia a este insecticida. Sayyed et al. (2005) y Barrera-Urzúa et al. (2006) no hallaron resistencia de *P. xylostella* al producto fipronil con proporciones de resistencia de 1 y 0,7; coincidiendo con los resultados de esta investigación en la que se presenta un valor máximo de 4,9 (Celaya). Para el insecticida indoxacarb, Nehare et al. (2010) obtuvieron una proporción de resistencia de 31,3 en poblaciones de campo de *P. xylostella*. Por su parte, Barrera-Urzúa et al. (2006) en un estudio realizado sobre diferentes poblaciones de campo de *P. xylostella* en el estado de Guanajuato no describieron problemas de resistencia (proporción de resistencia de 1,7), lo cual coincide con lo encontrado en esta investigación, aunque se puede apreciar una pequeña disminución en la toxicidad de este insecticida. Para chlorphenapyr, Jiang et al. (2015) determinaron proporciones de resistencia en larvas de tercer estadio de *P. xylostella* que van de 2,9 a 260,1; mientras que Zhang et al. (2016) calcularon valores de 13,4. Estos resultados difieren a los presentados en este estudio donde se obtuvo un valor de la proporción de resistencia máximo de 2,2 (Juventino Rosas). En el caso de abamectina, Zhang et al. (2016) y Jiang et al. (2015) hallaron resistencia en líneas de campo de *P. xylostella* con valores de la proporción de resistencia de 95,15 y 31,4 veces, respectivamente, mientras que Santos et al. (2011) y Oliveira et al. (2011) no encontraron problemas de resistencia en *P.*

xylostella para este insecticida con proporciones de resistencia de 1,4 y 3,3; respectivamente. Por su parte, Barrera-Urzúa et al. (2006), en un estudio realizado con líneas de campo de *P. xylostella* en el estado de Guanajuato, calcularon una resistencia de 2 para benzoato de emamectina, dato que está en la línea de lo obtenido en esta investigación y que pone de manifiesto que en la zona en estudio no hay aumento en la resistencia de *P. xylostella* para las avermectinas investigadas.

Por todo lo anterior, considerando la importancia de *P. xylostella* en la zona productora del centro de México y su capacidad para desarrollar resistencia a los plaguicidas utilizados para su control, se considera necesario implementar prácticas de manejo de la resistencia a esos y a otros plaguicidas si se quiere mantener la susceptibilidad de la plaga a los mismos.

Conclusiones

En las poblaciones de San Luis de la Paz y Valle de Santiago se ha observado la existencia de resistencia por parte de larvas de tercer estadio de *P. xylostella* frente a cipermetrina, mientras que el resto de las poblaciones en estudio presentaron valores de la proporción de resistencia cercanos a 10 respecto a este producto. Para el resto de los plaguicidas evaluados no se encontró resistencia en larvas de tercer estadio de ninguna de las poblaciones en estudio, aunque en algunos casos se obtuvieron valores de la proporción de resistencia próximos a 10.

Referencias bibliográficas

Abbott WS (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18: 265-267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>.

APRD (2020). Arthropod Pesticide Resistance Database. Disponible en: (Consultado: 5 de diciembre del 2020).

Balasubramani V, Sayyed AH, Crickmore N (2008). Genetic characterization of resistance to deltamethrin in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from India. *Journal of Economic Entomology* 101(6): 1911-1918. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-101.6.1911>.

Barrera-Urzúa R, Bujanos-Muñiz R, Rodríguez-Maciel JC, Mora-Aguilera G, Martínez-Téllez MÁ (2006). Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) del estado de Guanajuato, México. *Agrociencia* 40(3): 355-362.

Biondi A, Desneux N, Siscaro G, Zappalà L (2012). Using organic-certified rather than synthetic pesticides may not be safer for biological control agents: selectivity and side effects of 14 pesticides on the predator *Orius laevigatus*. *Chemosphere* 87: 803-812. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.12.082>.

Bujanos-Muñiz R, Rodríguez-Maciel JC, Byerly-Murphy KF, Hoy CW, Díaz-Gómez O (2003). Dilución de insecticidas y reducción de toxicidad sobre larvas de dorso de diamante (*Plutella xylostella* L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Agricultura Técnica en México* 29(2): 169-178.

Bujanos-Muñiz R, Marín-Jarillo A, Díaz-Espino LF, Gámez-Vázquez J, Ávila-Perches MA, Herrera-Vega R, Dorantes-González JRA, Gámez-Vázquez FP (2013). Manejo Integrado De La palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* (L.) en La Región Del Bajío, México. Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro De Investigación Regional Centro Campo Experimental Bajío Celaya, Gto., México. Folleto Técnico Núm. 27.

Campos EV, Proença PL, Oliveira JL, Bakshi M, Abhilash PC, Fraceto LF (2019). Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives. *Ecological Indicators* 105: 483-495. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.038>.

Da Silva Carvalho J (2008). *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae): Efeito Da Sinigrina Aplicada Em Folhas De Couve E Brócolis. Universidade Estadual Paulista "Julio De Mesquita Filho" Faculdade De Ciências Agrárias E Veterinárias Campus De Jaboticabal.

- Fathi SAA, Bozorg-Amirkalae M, Sarfaraz RM (2011). Preference and performance of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) on canola cultivars. *Journal of Pest Science* 84: 41-47.
- Meghana C, Jayappa J, Reddy NA, Devappa V, Sridhar V, Kattagoudar J (2018). Assessing susceptibility of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) population of different geographic region to selected newer insecticides. *Journal* <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0324-3>.
- Fathipour Y, Kianpour R, Bagheri A, Karimzadeh J, Hosseinaveh V (2019). Bottom-up effects of *Brassica* genotypes on performance of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection* 115: 135-141.
- Ferreira EA, de Souza SA, Domingues A, Da Silva MMM, Monteiro Padial IMP, de Carvalho EM, Cardoso CAL, da Silva SV, Mussury RM (2020). Phytochemical Screening and Bioactivity of *Ludwigia* spp. in the Control of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Insects* 11(9): 596. <https://doi.org/10.3390/insects11090596>.
- Finney DJ (1971). *Probit Analysis* 3rd Ed. Cambridge University Press, London, UK. 120 pp.
- Furlong MJ, Wright DJ, Dossdall LM (2013). Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospects. *Annual review of entomology* 58: 517-541. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153605>.
- Georghiou GP (1962). Carbamate insecticides: Toxication synergized carbamates against twelve resistant strain of the house fly. *Journal of Economic Entomology* 55: 768-769. 768-772. <https://doi.org/10.1093/jee/55.5.768>.
- Guo L, Liang P, Zhou X, Gao X (2014). Novel mutations and mutation combinations of ryanodine receptor in a chlorantraniliprole resistant population of *Plutella xylostella* (L.). *Scientific Reports* 4: 6924. <https://doi.org/10.1038/srep06924>.
- Heckel DG (2006). Chemical and biological insecticides: resistance mechanisms and management in diamondback moth. En: *The management of Diamondback Moth and other crucifer pests: proceedings of the 5th international workshop* (Ed. A. M. Shelton, H. L. Collins, & Y. Zhang), pp. 30-43. China Agricultural Science and Technology Press.
- IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) (2017). IRAC susceptibility test method 018 Disponible en: <http://www.irac-online.org/methods/plutella-xylostella-larvae/> (Consultado: 29 de Junio del 2017).
- Jiang T, Wu S, Yang T, Zhu C, Gao C (2015). Monitoring field populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) for resistance to eight insecticides in China. *Florida Entomologist* 98(1): 65-73.
- Li Z, Feng X, Liu SS, You M, Furlong MJ (2016). Biology, ecology, and management of the Diamondback moth in China. *Annual Review of Entomology* 61(1): 277-296. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023622>.
- Lu YH, Wu KM, Jiang YY, Guo YY, Desneux N (2012). Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature* 487: 362-365. <https://doi.org/10.1038/nature11153>.
- Meghana C, Jayappa J, Reddy NA, Devappa V, Sridhar V, Kattagoudar J (2018). Assessing susceptibility of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) population of different geographic region to selected newer insecticides. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 6(1): 320-327.
- Mohan M, Gujar GT (2003). Local variation in susceptibility of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus) to insecticides and role of detoxification enzymes. *Crop protection* 22(3): 495-504. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(02\)00201-6](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(02)00201-6).
- Montesinos SG (2005). Modelo de manejo de las unidades calor en el cultivo de brócoli y sus principales plagas. *Memorias del VI Seminario Técnico: Tecnología de producción de las crucíferas*. COTECO. Guanajuato, México. 95 p.
- Ndakidemi B, Mtei K, Ndakidemi, PA (2016). Impacts of synthetic and botanical pesticides on beneficial insects. *Agricultural Sciences* 7(6): 364-372. <https://doi.org/10.4236/as.2016.76038>.

- Nehare S, Moharil MP, Ghodki BS, Lande GK, Bisane KD, Thakare AS, Barkhade UP (2010). Biochemical analysis and synergistic suppression of indoxacarb resistance in *Plutella xylostella* L. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 13(2): 91-95. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2009.12.002>.
- Ninsin KD (2004). Acetamiprid resistance and cross resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Pest Management Science* 60(9): 839-841. <https://doi.org/10.1002/ps.933>.
- Oliveira ACD, Siqueira HÁAD, Oliveira JVD, Silva JED, Michereff Filho M (2011). Resistance of Brazilian diamondback moth populations to insecticides. *Scientia Agricola* 68(2): 154-159. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000200004>.
- Santos VC, De Siqueira HAA, Da Silva JE, De Farias MJDC (2011). Insecticide resistance in populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), from the state of Pernambuco, Brazil. *Neotropical Entomology* 40(2): 264-270. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2011000200017>.
- Sayyed AH, Attique MNR, Khaliq A, Wright DJ (2005). Inheritance of resistance and cross resistance to deltamethrin in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from Pakistan. *Pest Management Science* 61(7): 636-642. <https://doi.org/10.1002/ps.1031>.
- Shao ZR, Feng X, Li S, Li ZY, Huang JD, Chen H, Hu ZD (2013). Guideline for insecticide resistance monitoring of *Plutella xylostella* (L.) on cruciferous vegetables. China Agriculture Press., Beijing, China.
- Shoaib A, Elabasy A, Waqas M, Lin L, Cheng X, Zhang Q, Shi ZH (2018). Entomotoxic effect of silicon dioxide nanoparticles on *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) under laboratory conditions. *Toxicological & Environmental Chemistry* 100(1): 80-91. <https://doi.org/10.1080/02772248.2017.1387786>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2017a). Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/ (Consultado: 29 de Junio del 2017).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2017b). Casi la totalidad de las verduras mexicanas congeladas van al extranjero. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/casi-la-totalidad-de-las-verduras-mexicanas-congeladas-van-al-extranjero?idiom=es> (Consultado: 01 de Marzo del 2017).
- Sparks TC, Nauen R (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 121: 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>.
- Sun JY, Liang P, Gao XW (2012). Cross-resistance patterns and fitness in fufenozide-resistant diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Pest Management Science* 68: 285-289. <https://doi.org/10.1002/ps.2258>.
- Tabashnik BE (1994). Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology* 39: 47-79. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.39.010194.000403>.
- Tabone E, Bardon C, Desneux N, Wajnberg E (2010). Parasitism of different Trichogramma species and strains on *Plutella xylostella* L. on greenhouse cauliflower. *Journal of Pest Science* volume 83: 251-256. <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0292-7>.
- Tabone E, Bardon C, Desneux N (2012). Study of dispersal as a selection criterion for Trichogrammatidae for biological control in cauliflower greenhouses. *Acta Horticulturae* 927: 227-235. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.25>.
- Talekar NS, Shelton AM (1993). Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annual Review of Entomology* 38: 275-301. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.38.010193.001423>.
- Wang L, Walter GH, Furlong MJ (2019). Temperature, deltamethrin resistance status and performance measures of *Plutella xylostella*: complex responses of insects to environmental variables. *Ecological Entomology* 45(2): 345-354 <https://doi.org/10.1111/een.12805>.

Zalucki MP, Shabbir A, Silva R, Adamson D, Shu-Sheng L, Furlong MJ (2012). Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): just how long is a piece of string? *Journal of Economic Entomology* 105: 1115-1129. <https://doi.org/10.1603/EC12107>.

Zhang S, Zhang X, Shen J, Mao K, You H, Li J (2016). Susceptibility of field populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, to a selection of insecticides in Central China. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 132: 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2016.01.007>.

(Aceptado para publicación el 21 de abril de 2021)