







Efectividad de insecticidas para el control de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) y mortalidad del parasitoide *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae) en plantas brasicáceas

Effectiveness of insecticides for the control of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) and mortality of the parasitoid *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae) on brassicaceous plants

 MARIO ZAVALA-GARCÍA^{1,4*}  RAFAEL BUJANOS-MUÑOZ²
 CARLOS ALBERTO NÚÑEZ-COLÍN³  JUAN CARLOS RAYA-PÉREZ¹
 CÉSAR L. AGUIRRE-MANCILLA¹  JORGE COVARRUBIAS-PRIETO^{*1,2}

¹ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Roque, Guanajuato, México. mario32produccion@gmail.com, juan.rp@roque.tecnm.mx, cesar.am@roque.tecnm.mx, jor_covarru-jrg@hotmail.com

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Guanajuato, México. rafaelbujanos@gmail.com

³ Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México. carlos.nunez@ugto.mx,

⁴ Instituto Tecnológico de Roque, Guanajuato, México.

* Autor de correspondencia

Jorge Covarrubias-Prieto, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Roque, CP 38110, Celaya, Guanajuato, México. jor_covarru-jrg@hotmail.com

Citación sugerida

Zavala-García, M., Bujanos-Muñoz, R., Núñez-Colín, C. A., Raya-Pérez, J. C., Aguirre-Mancilla, C. L., & Covarrubias-Prieto, J. (2024). Efectividad de insecticidas para el control de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) y mortalidad del parasitoide *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae) en plantas brasicáceas. *Revista Colombiana de Entomología*, 50(2), e13202. <https://doi.org/10.25100/socolen.v50i2.13202>

Recibido: 05-Sep-2023

Aceptado: 17-Jun-2024

Publicado: 02-Dic-2024

Revista Colombiana de Entomología

ISSN (Print): 0120-0488

ISSN (On Line): 2665-4385

<https://revistacolombianaentomologia.univalle.edu.co>

Open access



BY-NC-SA 4.0
creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Publishers: Sociedad Colombiana de Entomología

SOCOLEN (Bogotá, D. C., Colombia)

<https://www.socolen.org.co>

Universidad del Valle (Cali, Colombia)

<https://www.univalle.edu.co>

Resumen: La producción de cultivos de brasicáceas en México es afectada por el ataque de la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae). Una aplicación inadecuada de insecticidas afecta indirectamente al principal parasitoide de esta plaga, la avispa *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae). El objetivo de esta investigación fue evaluar, bajo condiciones de laboratorio, tres insecticidas orgánicos, cinco insecticidas sintéticos y un testigo, para determinar su efectividad para controlar *P. xylostella* y su efecto en la mortalidad del parasitoide *D. insulare*. Fueron evaluados ocho tratamientos de insecticidas y un testigo mediante un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Se utilizó el método de inmersión de hoja de brócoli en solución con los insecticidas. Piridilil fue el que ocasionó la mayor mortalidad (100 %) en estadio de tercer instar larval de *P. xylostella* a las 48 h de la aplicación y un daño de leve a moderado (categorías 1 y 2 del IOBC) en *D. insulare* a las 72 h; Naled obtuvo 100 % de mortalidad en larva y adulto de *P. xylostella*, pero también provocó el 100 % de mortalidad en el parasitoide a las 24 h después del tratamiento. Entre los insecticidas orgánicos, Piretrina produjo la mayor mortalidad en larvas de *P. xylostella* (60 %) a las 72 h en las dos dosis utilizadas y provocó una mortalidad del 10 % en *D. insulare*. Los insecticidas Piridilil y Benzoato de Emamectina mostraron alta efectividad para el control del insecto-plaga y tuvieron bajo impacto en el parasitoide.

Palabras clave: brócoli, efectividad biológica, grupos químicos, insecticidas orgánicos, palomilla dorso de diamante, parasitoide.

Abstract: Crop production of brassicaceous crops in Mexico are affected by the attack of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae). An inadequate application of insecticides indirectly affects the main parasitoid of this pest, the wasp *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae). Eight insecticide treatments and one control were evaluated using a completely randomized design with four replications. The objective of this research was to evaluate, under laboratory conditions, three organic insecticides, five synthetic insecticides and a control, to determine their effectiveness in controlling *P. xylostella* and its

effect on the mortality of the parasitoid *D. insulare*. Broccoli leaf immersion method in solution with insecticides was used. Pyridalil caused the highest mortality (100 %) in the third-instar larval stage of *P. xylostella* at 48 h after application and mild to moderate mortality (categories 1 and 2 of the IOBC) to *D. insulare* at 72 hours; Naled obtained 100 % mortality in the larva and adult of *P. xylostella*, but also caused 100 % mortality in the parasitoid 24 h after treatment. Among the organic insecticides, Pyrethrin produced the highest mortality in *P. xylostella* larvae (60 %) at 72 h in the two doses used and caused a mortality of 10 % in *D. insulare*. Pyridalil and Emamectin Benzoate insecticides showed high effectiveness for the control of the insect-pest and had low impact on the parasitoid.

Keywords: Biological effectivity, broccoli, chemical groups, diamondback moth, organic insecticides, parasitoid wasp.

Introducción

México ocupa el quinto lugar como productor de brócoli en el mundo y es el mayor exportador de esta hortaliza (FAOSTAT, 2021). La palomilla dorso de diamante (PDD), *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae), es la plaga más importante de los cultivos de brasicáceas en varias regiones productoras del mundo (Ahmad et al., 2012; Barrera-Ursúa et al., 2006; Bujanos et al., 2003; Cerna-Chávez et al., 2018; Lima-Neto et al., 2016; Shelton et al., 2000). A nivel mundial, esta plaga puede ocasionar pérdidas de más del 80 % (US \$ 4 a US \$ 5 mil millones) en la producción anual de cultivos de brasicáceas (Navik et al., 2019; Zalucki et al., 2012). Es una plaga cosmopolita que afecta a 39 especies de brasicáceas (Uthamasamy et al., 2011). Esta preferencia es debida a la presencia de glucosinolatos, compuestos naturales del metabolismo secundario de esta familia que cumplen un rol importante en la interacción planta-insecto, que permite la ubicación del huésped, estimula la oviposición y el inicio de la alimentación (Hopkins et al., 2009).

Dentro de las características que permiten el éxito de *P. xylostella* como una plaga están el corto periodo generacional, la alta tasa de fecundidad y su resistencia a los insecticidas. Su control se realiza principalmente mediante el método químico (Ramírez-Cerón et al., 2022), lo que hace que la PDD esté bajo presión de selección continua por la aplicación de insecticidas que conduce a incrementar la frecuencia de genes de resistencia (Lima-Neto et al., 2016). Los citados autores monitorearon la resistencia de poblaciones de la PDD a los insecticidas Spinosad, Clorfenapyr, Indoxacarb y Benzoato de Emamectina; y encontraron que *P. xylostella* desarrolló resistencia a Clorfenapyr y Spinosad. Una parte de los productos utilizados para su control son insecticidas sintéticos de amplio espectro, incluidos organofosforados que ocasionan daño ambiental (Kapeleka et al., 2019).

La PDD es uno de los insectos cosmopolitas más destructivos de los cultivos de brasicáceas y ha mostrado una resistencia significativa a la mayoría de los insecticidas sintéticos aplicados (Sarfranz et al., 2005; Xu et al., 2004). Debido a esto los agricultores optan, por incrementar la dosis de insecticidas y aplicaciones además de mezclar más de dos tipos de insecticidas para maximizar el espectro de control (Mpumi et al., 2020). Existe información acerca de la resistencia de este insecto-plaga a 101 ingredientes activos (APRD, 2023).

Los riesgos actuales y potenciales debido al uso excesivo de plaguicidas son la presencia de los residuos de estos en el producto cosechado y el riesgo de intoxicación del personal que realiza las aplicaciones en el campo, además de los consumidores (Bujanos et al., 2003). Menos del 1 % de los plaguicidas aplicados en los cultivos logran llegar al objetivo; el resto de la dosis contamina el suelo, el agua, el aire y los alimentos, además de tener un impacto negativo sobre los insectos benéficos (Koul et al., 2008). Sarfranz et al. (2005) y Ahmad et al. (2012) indican que la importancia de *P. xylostella* se debe a su alto potencial reproductivo (más de 20 generaciones por año en los trópicos); el rápido desarrollo de resistencia a los insecticidas químicos debido a su elasticidad genética; que hace que su alta variabilidad genética facilite el rápido desarrollo de resistencia a los insecticidas. Sarfranz et al. (2005) señalan que *P. xylostella* presenta generaciones múltiples por año y su dinámica poblacional está sincronizada con su hospedero. Los extractos de Neem mostraron efectos significativos en la fecundidad, peso de pupas, y redujeron la ingesta de alimento de *P. xylostella* (Ahmad et al., 2012). La avispa *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae) es uno de los principales parasitoides de *P. xylostella* (Cordeiro et al., 2007; Xu et al., 2001); en América del Norte se han reportado niveles de parasitismo de *P. xylostella* de 50 % - 90 % en campo (Bahar et al., 2013). Este endoparásito específico de la plaga ataca el tercer y cuarto instar larval de *P. xylostella* (Ramírez-Cerón et al., 2022). Liu et al. (2012) indican que el insecticida λ -cyhalotrina fue muy tóxico para *D. insulare* y que Spinosad fue ligeramente tóxico y redujo las poblaciones de *P. xylostella* en invernadero; además, *D. insulare* pudo distinguir entre larvas alimentadas en plantas tratadas con λ -cyhalotrina y las no tratadas. Las poblaciones del parasitoides se han visto afectadas por el uso intensivo e indiscriminado de insecticidas como los organofosforados, carbamatos y piretroides, que son tóxicos y de amplio espectro, especialmente para los parasitoides adultos, que afectan su comportamiento y fertilidad. La formulación es importante cuando se evalúan efectos de insecticidas sobre enemigos naturales (Rahardjo et al., 2021; Xu et al., 2001). Antes de realizar aplicaciones de insecticidas, se debe tomar en cuenta los efectos que ocasionan en los insectos benéficos y descartar los más perjudiciales, considerando la clasificación de los insecticidas, de acuerdo con el efecto en la mortalidad sobre los insectos benéficos (Amoabeng et al., 2014). Xu et al. (2004) encontraron que los residuos foliares de Spinosad a las 24 h, tuvieron los menores efectos sobre los adultos de *D. insulare*; los residuos de 7 y 10 días sólo causaron 5,6 % y 7,4 % de mortalidad, respectivamente, mientras que los residuos foliares de 10 días de Indoxacarb y λ -cyhalothrina causaron 40,7 % y 57,4 % de mortalidad a las 24 h, respectivamente. Se deben utilizar insecticidas de baja toxicidad y realizar un manejo adecuado de los agroquímicos para evitar que disminuya la actividad del parasitoides para el control de la PDD en campo, dentro de un Programa de Manejo Integral de Plagas (IPM) (Bujanos et al., 2003; Ramírez-Cerón et al., 2022; Xu et al., 2004).

Con base en la problemática delineada, en esta investigación se estableció como objetivo, evaluar bajo condiciones de laboratorio, tres insecticidas orgánicos, cinco insecticidas sintéticos y un testigo, para determinar su efectividad para controlar *P. xylostella* y su efecto en la mortalidad del parasitoides *D. insulare*.

Materiales y métodos

Localidad del estudio

La presente investigación se realizó durante el ciclo P-V 2021 en el laboratorio de Entomología del Campo Experimental Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el Km 8 de la Carretera Celaya-San Miguel Allende, Guanajuato, México, a 20°34'N y 100°50'O; 1,752 m s.n.m.

Colecta de poblaciones

Se colectaron alrededor de 200 individuos de *P. xylostella* (pupas y larvas) en campos de brócoli de San Luis de la Paz, una región de importancia en la producción de brócoli, ubicada en el norte del estado de Guanajuato, México; posteriormente, los individuos se confinaron en jaulas entomológicas (60 cm × 40 cm × 40 cm). Del pie de cría se obtuvieron los adultos de *P. xylostella*; estos fueron alimentados con 500 mL de agua azucarada al 16 %. Los individuos de la población se criaron hasta la tercera generación de cría artificial (F₃), para que no perdieran la resistencia a los insecticidas adquirida en campo (Bujanos et al., 2003).

Los adultos de *D. insulare* fueron donados por la compañía Organismos Benéficos para la Agricultura (OBA). Para obtener el incremento de la población, se alimentaron con una dieta consistente de una solución de miel de abeja al 10 % diluida en agua, y se usaron larvas de *P. xylostella* de tercer instar como huésped. Estos insectos se mantuvieron en una cámara de cría a temperatura ambiente de 27 °C, 50 % de humedad relativa y un fotoperiodo de 16:8 h luz-oscuridad. Dentro de las jaulas se colocaron plantas de brócoli variedad Avenger de 40-45 días de desarrollo como refugio para facilitar la reproducción y alimentación de los insectos.

Insecticidas utilizados

Se evaluaron ocho tratamientos de insecticidas y un testigo (con aplicación de sólo agua), organizados en cinco grupos químicos diferentes (Tabla 1): tres insecticidas orgánicos: Bioxter, Pirecris y Neemix; tres insecticidas sintéticos de uso actual por los productores: Tracer Edge (Spinosines), Proclaim Opti (Avermectinas), Pleo 50 EC (Derivados de Dialopreno) y dos insecticidas de amplio uso en la agricultura: Karate Zeon CS (Piretroide) y Dibrom 8 (Organofosforado).

Para las dosis de cada ingrediente activo se extrajo la información de las fichas técnicas de cada insecticida comercial como dosis mínima, dosis máxima, además de el volumen de

agua recomendados para su aplicación en una hectárea, tomando en cuenta que cada insecticida puede presentar diferentes grados de solubilidad en agua.

Bioensayos

En los bioensayos se utilizó el método de inmersión de hoja basado en trabajos previos (Shelton et al., 2000). En la evaluación de los insecticidas se utilizó el diseño completamente al azar, considerando cuatro repeticiones. La concentración de los insecticidas utilizada en los bioensayos se determinó en función de la dosis mínima y máxima recomendada para su uso en campo: la dilución del insecticida se determinó del volumen de agua correspondiente al sugerido por la etiqueta de cada insecticida para el cultivo de brócoli. Se usó el humectante Tween®, con pH entre 5,5 y 6,0. En cada tratamiento se sumergió un disco de las hojas centrales del brócoli variedad Avenger, de 6 cm de diámetro durante 10 s; posteriormente, cada disco se colocó en una caja de Petri de 90 mm y se mantuvo en una cámara de flujo laminar durante una hora para permitir que el producto se absorbiera y se secara; para cada especie de insecto, por separado, en las cajas de Petri, se usaron 10 larvas de tercer instar y 10 adultos de *P. xylostella* y 10 adultos de la avispa *D. insulare*. El testigo consistió en un disco de hoja de brócoli del mismo tamaño y fue impregnado solamente con agua destilada. Las cajas de Petri se colocaron en una cámara de cría con temperatura de 27±2 °C y 60±5 % de humedad relativa. La observación de la mortalidad de la PDD se realizó a las 24, 48 y 72 h después de la aplicación de los tratamientos.

Análisis de datos

El análisis de varianza de los datos obtenidos se realizó mediante un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones; los datos de mortalidad (%) obtenidos se transformaron mediante la función raíz cuadrada (Gomez & Gomez, 1984); los datos originales se presentan en las tablas de comparación de medias por medio la prueba de Tukey (DSH) (SAS, 9.3, 2011).

Resultados

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los tratamientos y se procedió a realizar la comparación de medias. Los resultados obtenidos son confiables, pues los coeficientes de variación (c.v.) tuvieron valores menores de 20 % (Gomez & Gomez, 1984) (Tabla 2). Los resultados mostraron que los efectos de los insecticidas, tanto en

Tabla 1. Relación de insecticidas y dosis utilizadas en la evaluación de la actividad insecticida en adultos y larvas de tercer instar de *P. xylostella* y en adultos del parasitoide *D. insulare*.

Producto comercial	Ingrediente activo	DMi - DMA	Vol. de agua (L/ha)	Ppm (mg de IA/L) ¹	Empresa
Pleo 50 EC	Piridilil (44.9%)	0,20-0,35 ^a	530	169-297	Valent México
Proclaim Opti 5WG	Benzoato de Emamectina (5%)	0,150-0,200 ^b	600	13-17	Syngenta Agro
Tracer Edge	Spinosad (36%)	0,060-0,090 ^b	400	54-81	Corteva Agrosciense
Dibrom 8	Naled (66.5%)	0,750-1,250 ^a	600	831-1385	AMVAC
Karate Zeon	λ. cyhalotrina (5.15%)	0,420-0,700 ^a	400	53-88	Syngenta Agro
Bioxter	Capsaicina (3%)	0,750-1,0 ^a	550	41-55	Piveg
Neemix 4.5	Azadiractina (4.5%)	0,244-0,777 ^a	400	27-87	Summit Agro
Pirecris	Piretrina (2.15%)	1,0-3,0 ^a	1000	22-65	Scipasa

DMi – DMA: Dosis mínima-dosis máxima; ^aL/ha; ^bkg/ha; Vol – volumen; ¹(dosis mínima-dosis máxima).

Tabla 2. Cuadros medios, grados de libertad, significancia estadística y coeficientes de variación del análisis de varianza de la evaluación de la efectividad biológica de insecticidas para la variable mortalidad de la palomilla Dorso de Diamante (*Plutella xylostella*) en estadio de adulto y larva, y *Diadegma insulare* en estadio adulto a las 24, 48 y 72 horas.

Fte. Varc	G.L.	Cuadros medios								
		24 h			48 h			72 h		
		P. X. Adulto	P. X. Larva	Diadg Adulto	P. X. Adulto	P. X. Larva	Diadg Adulto	P. X. Adulto	P. X. Larva	Diadg Adulto
Tratm	16	2,231*	3,838*	3,738*	2,152*	3,914*	2,959*	2,067*	3,064*	2,089*
Error	48	0,025	0,045	0,024	0,033	0,029	0,091	0,114	0,027	0,116
CV (%)		11,8	12,0	9,5	12,2	8,0	15,8	19,9	6,4	14,5

* indica significancia estadística al nivel 0.05 de probabilidad; Fte.Varc = Fuentes de Variación; Tratm = tratamientos; G.L.=Grados de Libertad; P. X.-Adulto = *Plutella xylostella*- estadio adulto; P. X. Larva = *Plutella xylostella*- estadio larva; Diadg-Adulto = *Diadegma insulare*- estadio adulto.

P. xylostella para ambos estadios de desarrollo y en *D. insulare*, fue progresiva y ocasionó la mayor mortalidad a las 72 h por algunos de los insecticidas probados. Algunos insecticidas no mostraron efectividad para el control de la PDD pues no fueron significativamente diferentes al testigo.

En el estadio adulto de *P. xylostella* (Tabla 3), el insecticida organofosforado Naled produjo 100 % de mortalidad, desde las 24 h de aplicación, en ambas dosis; el piretroide λ-cyhalotrina produjo 52,5 % de mortalidad en la dosis alta a las 72 h de aplicación (estadísticamente igual a Naled). Piridaliil ocasionó una mortalidad de 42,5 % a las 72 h de aplicación y fue estadísticamente igual al insecticida λ-cyhalotrina; ambos insecticidas en dosis altas. El resto de los insecticidas empleados no mostraron eficacia, pues resultaron estadísticamente iguales al testigo. A las 24 h de la aplicación de los tratamientos, se observó, en general, poca efectividad de los insecticidas, excepto Naled. Después de las 48 h se empezaron a observar diferencias en la efectividad de éstos.

Tabla 3. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de la efectividad de los insecticidas evaluados para la variable mortalidad de la palomilla dorso de diamante (*Plutella xylostella*) en estadio de desarrollo adulto, a las 24, 48 y 72 horas.

Insecticidas evaluados	Mortalidad (%)*		
	24 h	48 h	72 h
Naled 1	100a	100a	100a
Naled 2	100a	100a	100a
Piridaliil 1	10b	25b	42,5bc
Piridaliil 2	2,5b	10bcd	15cd
B. de Emamectina 1	7,5b	10cd	12,5cd
B. de Emamectina 2	0b	0d	5d
λ. cyhalotrina 1	5b	22,5bc	52,5ab
λ. cyhalotrina 2	2,5b	7,5d	22,5bcd
Spinosad 1	0b	0d	7,5d
Spinosad 2	0b	2,5d	7,5d
Capsaicina 1	7,5b	10cd	12,5cd
Capsaicina 2	0b	5d	12,5cd
Azadiractina 1	0b	0d	7,5d
Azadiractina 2	0b	0d	5d
Piretrina 1	0b	2,5d	10d
Piretrina 2	0b	2,5d	2,5d
Testigo	0b	0d	0d

* Medias con la misma letra dentro de la misma variable son estadísticamente iguales (Tukey, p ≤ 0,05); (1) insecticidas, dosis alta; (2) insecticidas, dosis baja.

La evaluación de la mortalidad de *P. xylostella* en estadio de larva de tercer instar (Tabla 4) indicó que los insecticidas Naled (ambas dosis), Piridaliil (ambas dosis) y Spinosad (ambas dosis) produjeron alta mortalidad de esta larva, con resultados estadísticamente iguales entre sí pero superiores al testigo; los dos primeros insecticidas provocaron 100 % de mortalidad en larvas a las 24, 48 y 72 h, tanto en dosis baja, como en alta; a las 72 h, Spinosad produjo 90 % y 95 % de mortalidad en dosis baja y dosis alta, respectivamente. Benzoato de Emamectina (ambas dosis) produjo alta mortalidad, pero hasta las 72 h.

A las 72 h de la aplicación, el insecticida orgánico a base de Piretrina provocó una mortalidad de 60 % y 65 % en dosis baja y alta, respectivamente; la Capsaicina produjo 60 % y 52,5 % de mortalidad en dosis baja y alta, respectivamente; ambos insecticidas fueron significativamente superiores al testigo. λ-cyhalotrina y Azadiractina no fueron efectivos para el control larval de la PDD, pues resultaron estadísticamente iguales al testigo.

El efecto de los tratamientos con insecticidas sobre la mortalidad del parasitoide *D. insulare* adulto se muestran en la Tabla 5; además de mostrar los productos que causaron la mayor mortalidad en este parasitoide se indica la categoría correspondiente al grado de toxicidad; se utilizó las categorías de toxicidad según la Organización Internacional de Control Biológico (IOBC).

Los insecticidas que provocaron 100 % de mortalidad en *D. insulare* fueron Naled y Spinosad, a las 24, 48 y 72 h de aplicación, en ambas dosis; λ-cyhalotrina ocasionó 85 % de mortalidad en la dosis alta a las 72 h, sin diferencias significativas con los dos primeros insecticidas. Naled, Spinosad y λ-cyhalotrina fueron clasificados en esta evaluación como insecticidas dañinos (Categoría 4 de la IOBC) para *D. insulare*.

El grupo de insecticidas que no mostraron efecto en la mortalidad de *D. insulare* y considerados estadísticamente iguales al testigo, fueron los insecticidas orgánicos. La Capsaicina, en la dosis baja, obtuvo 17,5 % de mortalidad y la Piretrina, 7,5 % y 10 % de mortalidad en dosis baja y alta, respectivamente; estas lecturas fueron tomadas a las 72 h de aplicación; debido a que estos insecticidas no mostraron un efecto significativo en la mortalidad en *D. insulare*, fueron clasificados como inofensivos (Categoría 1).

Tabla 4. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de la efectividad de los insecticidas evaluados para la variable mortalidad de la palomilla dorso de diamante (*P. xylostella*) en estadio de desarrollo larval de tercer instar, a las 24, 48 y 72 horas.

Insecticidas evaluados	Mortalidad (%)*		
	24 h	48 h	72 h
Naled 1	100a	100a	100a
Naled 2	100a	100a	100a
Piridalil 1	100a	100a	100a
Piridalil 2	92,5a	100a	100a
B. de Emamectina 1	10c	75ab	100a
B. de Emamectina 2	0c	62,5b	97,5a
L. cyhalotrina 1	0c	0e	0d
L. cyhalotrina 2	0c	0e	0d
Spinosad 1	67,5a	85ab	95a
Spinosad 2	37,5b	75ab	90ab
Capsaicina 1	2,5c	5de	60b
Capsaicina 2	2,5c	2,5e	52,5b
Azadiractina 1	10c	20c	27,5c
Azadiractina 2	5c	15cd	22,5c
Piretrina 1	0c	7,5cde	65b
Piretrina 2	2,5c	7,5cde	60b
Testigo	0c	0e	0d

* Medias con la misma letra dentro de la misma variable son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0,05$); Insecticidas, dosis alta (1); insecticidas, dosis baja (2).

Tabla 5. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de la efectividad de los insecticidas evaluados para la variable mortalidad de *D. insulare* adulto, a las 24, 48 y 72 horas.

Insecticidas evaluados	Mortalidad (%)*			Categoría IOBC
	24 h	48 h	72 h	
Naled 1	100a	100a	100a	4
Naled 2	100a	100a	100a	4
Piridalil 1	5bcd	32,5bc	55abc	3
Piridalil 2	0d	12,5cd	40cde	2
B. Emamectina 1	2,5cd	7,5cd	45bcd	2
B. Emamectina 2	0d	7,5cd	45bcd	2
λ -cyhalotrina 1	12,5bc	42,5b	85ab	4
λ -cyhalotrina 2	2,5cd	12,5cd	52,5abcd	3
Spinosad 1	100a	100a	100a	4
Spinosad 2	100a	100a	100a	4
Capsaicina 1	2,5cd	10cd	30cde	2
Capsaicina 2	2,5cd	7,5cd	17,5de	1
Azadiractina 1	15b	25bcd	37,5cde	2
Azadiractina 2	0d	7,5cd	32,5cde	2
Piretrina 1	0d	5d	7,5e	1
Piretrina 2	0d	2,5d	10e	1
Testigo	0d	0d	0e	1

* Medias con la misma letra dentro de la misma variable son estadísticamente iguales. (Tukey, $p \leq 0,05$); Insecticidas, dosis alta (1); insecticidas, dosis baja (2). ²Categorías IOBC según su mortalidad: categoría 1 (inofensivo) < 25 %; categoría 2 (levemente dañino) 25 %-50 %; categoría 3 (moderadamente dañino) 50 %-75 %; categoría 4 (dañino) > 75 %.

Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, los insecticidas actuales en el mercado que mostraron buena efectividad biológica en el control de la plaga PDD y además de baja mortalidad en el parasitoide (*D. insulare*), fueron los insecticidas Piridalil y Benzoato de Emamectina, ya que mostraron alta efectividad para el control del insecto-plaga y tuvieron bajo impacto en el parasitoide; estos fueron los más efectivos para el control de larvas de *P. xylostella*, tomando en cuenta que la mayoría de los insecticidas son dirigidos al control de estadios de desarrollo larval, no así para el estadio adulto.

El insecticida benzoato de Emamectina provocó alta mortalidad en larvas de *P. xylostella*. Shelton et al. (2000) reportaron alta efectividad biológica en *P. xylostella*. Posteriormente, este insecticida se reformuló con la adición de protección UV al ingrediente activo para disminuir su degradación debido a las condiciones climáticas; su modo de acción es por ingesta y tiene acción translaminar.

El insecticida Piridalil produjo una mortalidad moderada en la PDD y baja mortalidad en el parasitoide *D. insulare* y considerado levemente dañino (categoría 2) en dosis baja, y moderadamente dañino en dosis alta (categoría 3 IOBC), de acuerdo con los criterios de la IOBC; este insecticida podría considerarse en un programa de MIP. Este resultado concuerda con Ramírez-Cerón et al. (2022), quienes evaluaron el efecto de Piridalil en *D. insulare*; y observaron que éste fue de bajo impacto en el parasitoide. Existe discrepancia con este autor para Benzoato de Emamectina, que lo señalan como altamente dañino (categoría 4 IOBC); este autor utilizó el método de bioensayo de aspersión con torre de Potter y en comparación con este estudio que se utilizó el método de inmersión de hoja.

El insecticida Spinosad provocó un porcentaje de mortalidad superior al 90 % en larvas de *P. xylostella*, en ambas dosis, a las 72 h de la aplicación; este resultado concuerda con Hill and Foster (2000), quienes encontraron que, con el método de hoja húmeda y bioensayo residual, tanto la permetrina como Spinosad provocaron el 100 % de mortalidad en larvas y adultos de la PDD, a las 72 h de la aplicación del tratamiento. Barrera-Urzúa et al. (2006) mencionaron que Spinosad fue introducido a Guanajuato, México en 1999, pero la efectividad biológica se vio afectada por el uso intensivo en campo y provocó desarrollo de resistencia por *P. xylostella*, debido a la presencia de una proporción de resistencia de dicha población en el norte de Guanajuato, México.

Naled y Spinosad fueron los insecticidas que ocasionaron la mayor mortandad en *D. insulare*, considerado como dañino (categoría 4 IOBC); este resultado concuerda con ensayos realizados por Hill y Foster (2000) y Xu et al. (2004); indican que los adultos de *D. insulare* fueron más sensibles a permetrina, y mostraron que *D. insulare* fue altamente sensible a estos insecticidas sintéticos. Por su toxicidad, es un insecticida que amerita mayor investigación, con respecto a su acción por medio de contacto e ingestión en insectos benéficos. El efecto que tuvieron estos dos insecticidas sintéticos en *D. insulare* los clasifica como tóxicos (categoría 4 IOBC); esto concuerda con los resultados reportados por Hazra et al. (2017) y Rahardjo et al. (2021), quienes encontraron que el uso de moléculas tóxicas de amplio espectro y alta persistencia, en el orden de influencia negativa sobre la fauna benéfica, son: piretroides,

organofosforados y carbamatos; estos causan efectos letales y subletales en insectos benéficos que realizan control biológico de plagas como depredadores y parasitoides.

El insecticida Naled produjo el 100 % de mortalidad desde las 24 horas en larvas y adultos de *P. xylostella*; este insecticida actúa por contacto e ingestión; su vapor también tiene efecto sobre el insecto plaga. Naled y λ -cyhalotrina, organofosforado y piretroide, respectivamente, son insecticidas sintéticos de uso antiguo; actualmente, los productores de brócoli los utilizan para el control de adultos de *P. xylostella*.

El insecticida λ -cyhalotrina no tuvo efecto en la mortalidad de larvas, pero mostró un 52 % de mortalidad de adultos a las 72 h de la aplicación (dosis alta); esto muestra la importancia de utilizar el volumen de agua correcto en insecticidas piretroides, ya que la eficiencia se ve disminuida por la dilución.

En contraste a la mortalidad reportada en estudios de laboratorio, las diferencias pudieran deberse a diversos factores: características físico-químicas de cada producto comercial y su relación con las condiciones climáticas (temperatura, radiación, humedad, viento, etc.). Otros factores importantes reportados por Shelton et al. (2000) son la resistencia a insecticidas que ha adquirido *P. xylostella*, y de la capacidad que tiene este insecto para evitar el contacto directo con los tóxicos y también lo reportado por Moore y Tabashnik (1989) acerca de la capacidad que tiene el insecto *P. xylostella* para evitar el contacto directo con los tóxicos. Cerna-Chavez et al. (2018) encontraron enzimas como las esterases implicadas en la falta de efectividad biológica en insecticidas organofosforados y piretroides en poblaciones de *P. xylostella* de Guanajuato, México. Moore y Tabashnik (1989) demostraron que los adultos de *P. xylostella* presentan un fenómeno llamado autotomía (desprendimiento) de una o ambas patas metatorácicas, para evitar la muerte, después del contacto tarsal con residuos de insecticidas organofosforados, piretroides y carbamatos.

Aunque el efecto de los tres insecticidas orgánicos, en general, provocó una baja mortalidad en adulto de *P. xylostella*, se considera que provocaron un efecto medianamente efectivo para el control de larvas y un bajo impacto en la mortalidad en *D. insulare*, con categorías IOBC de inofensivo (categoría 1) a levemente dañino (categoría 2). Los insecticidas evaluados mostraron buen control de la PDD en el tercer instar larval.

La Capsaicina ocasionó una baja mortalidad en el parasitoide, lo cual sirve como referencia para la integración de este tipo de productos en el control de *P. xylostella*; se recomienda aplicar en etapas fenológicas tempranas del cultivo y evitar cuando la inflorescencia está en formación, ya que las larvas sufren irritación y se protegen dentro de la inflorescencia.

El insecticida Azadiractina mostró la menor efectividad biológica para larvas de *P. xylostella*; contrasta con Priyono y Hassan (1993), quienes realizaron estudios en campo y encontraron que la aplicación de Azadiractina al 2,5 % redujo daños en la cabeza de brócoli; encontraron que el principal efecto sobre *P. xylostella* fue mediante efectos subletales (en este caso metamórficos) como malformación y muerte del insecto durante y después de la formación de la pupa. Este insecticida es inofensivo para el parasitoide *D. insulare*; actúa por ingestión y contacto con movimiento translaminar. De acuerdo con Rattan y Sharma (2011), el árbol del Neem contiene alrededor de 100 diferentes limonoides (triterpenos) en sus diferentes tejidos; actúa en el insecto como regulador de crecimiento, interfiriendo en la síntesis de la hormona de la muda (Ecdisona); inhibe la conducta alimentaria.

Conclusiones

El insecticida Naled fue el más efectivo en controlar a la PDD, tanto en adulto como en el tercer instar larval. Spinosad también fue efectivo en controlar a la PDD en el tercer instar larval. Estos insecticidas provocaron 100 % de mortalidad en el parasitoide. Resulta importante considerar también el control natural para reducir la contaminación con productos químicos. Naled, Spinosad y λ -cyhalotrina fueron clasificados en esta evaluación como insecticidas dañinos (Categoría 4 de la IOBC) para *D. insulare*. Se observaron tratamientos de insecticidas con un efecto benéfico en *D. insulare* y buen control de la PDD.

Se cumplieron los objetivos planteados en esta investigación, pues se identificaron, bajo condiciones de laboratorio, tratamientos de insecticidas que obtuvieron un buen control de la PDD, además de que su impacto sobre *D. insulare* se clasificó como categoría 1 (inofensivo, según IOBC).

Es muy importante seguir las instrucciones del formulador de insecticidas para lograr un mejor control del insecto-plaga, la PDD. La metodología empleada fue efectiva para obtener información para lograr un buen control de la PDD.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca 745032 otorgada durante cuatro años para la realización del programa de doctorado.

Al Ing. Daniel Aguilar de la empresa Expor San Antonio por facilitar el material biológico.

Al Dr. Carlos Blanco por la aportación de su experiencia y conocimientos en la revisión de este trabajo.

Referencias

- Ahmad, N., Ansari, M. S., & Hasan, F. (2012). Effects of neem-based insecticides on *Plutella xylostella* (Linn.). *Crop Protection*, 34, 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.12.010>.
- Amoabeng, B. W., Gurr, G. M., Gitau, C. W., & Stevenson, P. C. (2014). Cost: Benefit analysis of botanical insecticide use in cabbage: Implications for smallholder farmers in developing countries. *Crop Protection*, 57, 71-76. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.11.019>
- Arthropod Pesticide Resistance Database. (2023). *Plutella xylostella*. APRD. Disponible en: <https://www.pesticideresistance.org/display.php?page=species&arId=571> [Revisión: 27 de marzo 2023].
- Bahar, M. H., Soroka, J. J., Dosdall, L. M., & Olfert, O. O. (2013). Occurrence of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), and its larval parasitoids across Saskatchewan, Canada. *Biocontrol Science and Technology*, 23(6), 724-729. <https://doi.org/10.1080/09583157.2013.790343>
- Barrera-Urzuá, R., Bujanos-Muñiz, R., Rodríguez-Maciél, J. C., J., Mora-Aguilera, G., & Martínez-Téllez, M. Á. (2006). Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) del Estado de Guanajuato, México. *Agrociencia*, 40(3), 355-362. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240308>
- Bujanos-Muñiz, M., Maciel, R., Concepción, J., Murphy, B., Francisco, K., & Gómez, D. (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. <https://www.redalyc.org/pdf/608/60829207.pdf>

- Cerna-Chávez, E., Rodríguez-Rodríguez, J. F., Hernández-Juárez, A., Aguirre-Urbe, L. A., Landeros-Flores, J., Cervantes-Ortiz, F., Guevara-Acevedo, L.P. & Ochoa-Fuentes, Y. M. (2018). Cuantificación de enzimas asociadas a la resistencia a insecticidas en diferentes poblaciones de *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) del Estado de Guanajuato, México. *Revista Biociencias*, 5(1), e424. <https://doi.org/10.15741/revbio.05.nesp.e424>
- Cordero, R. J., Bloomquist, J. R., & Kuhar, T. P. (2007). Susceptibility of two diamondback moth parasitoids, *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera; Ichneumonidae) and *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera; Eulophidae), to selected commercial insecticides. *Biological Control*, 42(1), 48-54. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.04.005>
- FAOSTAT. (2021). Cultivos y productos de ganadería: brócoli 8 toneladas. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). *Statistical Procedure for Agricultural Research*. John Wiley & Sons. New York.
- Hazra, D. K., Karmakar, R., Poi, R., Bhattacharya, S., & Mondal, S. (2017). Recent advances in pesticide formulations for eco-friendly and sustainable vegetable pest management: A review. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 2(3), 232-237. <https://journals.aesacademy.org/index.php/aaes/article/view/02-03-017>
- Hill, T. A., & Foster, R. E. (2000). Effect of insecticides on the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Journal of Economic Entomology*, 93(3), 763-768. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.3.763>
- Hopkins, R. J., Van-Dam, N. M., & Loon, J. V. (2009). Role of glucosinolates in insect-plant relationships and multitrophic interactions. *Annual Review of Entomology*, 54, 57-83. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.54.110807.090623>
- Kapeleka, J. A., Sauli, E., Sadik, O., & Ndakidemi, P. A. (2019). Biomonitoring of Acetylcholinesterase (AChE) activity among smallholder horticultural farmers occupationally exposed to mixtures of pesticides in Tanzania. *Journal of Environmental Public Health*, 2, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2019/3084501>
- Koul, O., Walia, S., & Dhaliwal, G. S. (2008). Essential oils as green pesticides: Potential and constraints. *Biopesticides International*, 4(1), 63-84. <https://connectjournals.com/pages/articledetails/toc001055>
- Lima-Neto, J. E., Amaral, M. H. P., Siqueira, H. A. A., Barros, R., & Silva, P. A. F. (2016). Resistance monitoring of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) to risk-reduced insecticides and cross resistance to spinetoram. *Phytoparasitica*, 44(5), 631-640. <https://doi.org/10.1007/s12600-016-0553-y>
- Liu, X., Chen, M., Collins, H. L., Onstad, D., Roush, R., Zhang, Q., & Shelton, A. M. (2012). Effect of insecticides and *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) genotype on a predator and parasitoid and implications for the evolution of insecticide resistance. *Journal of Economic Entomology*, 105(2), 354-362. <https://doi.org/10.1603/EC11299>
- Moore, A., & Tabashnik, B. E. (1989). Leg autotomy of adult diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in response to tarsal contact with insecticide residues. *Journal of Economic Entomology*, 82(2), 381-384. <https://doi.org/10.1093/jee/82.2.381>
- Mpumi, N., Machunda, R. S., Mtei, K. M., & Ndakidemi, P. A. (2020). Selected insect pests of economic importance to *Brassica oleracea*, their control strategies and the potential threat to environmental pollution in Africa. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9), 3824. <https://doi.org/10.3390/su12093824>
- Navik, O., Ramya, R. S., Varshney, R., Jalali, S. K., Shivalingaswamy, T. M., Rangeshwaran, R., Lalitha, Y., Patil, J., & Ballal, C. R. (2019). Integrating biocontrol agents with farmer's practice: impact on diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae) and cabbage yield. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 29(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0140-x>
- Prijono D., & E. Hassan. (1993). Laboratory and field efficacy of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) extracts against two broccoli pests. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 100(4), 354-370. <https://doi.org/10.21776/ub.jtpp.2021.002.1.1>
- Rahardjo, B. T., Widjayanti, T., & Anggraini, A. (2021). The effect of insecticide application on *Plutella xylostella* Linn. and its parasitoid *Diadegma* sp. *Journal of Tropical Plant Protection*, 2(1), 1-6. <https://doi.org/10.21776/ub.jtpp.2021.002.1.1>
- Ramírez-Cerón, D., Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-Flores, J. R., Soto-Rojas, L., Ramírez-Alarcón, S., & Segura-Miranda, A. (2022). Toxicity and residual activity of insecticides against *Diadegma insulare*, a parasitoid of the diamondback moth. *Insects*, 13(6), 1-11. <https://doi.org/10.3390/insects13060514>
- Rattan, R. S., & Sharma, A. (2011). Plant secondary metabolites in the sustainable diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) management. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 1(3), 295-309. [https://www.cibtech.org/J-LIFE-SCIENCES/PUBLICATIONS/2011/Vol%201%20No%203/49%20MS%20JLS-01-03-032%20metabolites%20%20\(Plutella%20xylostella%20L.\)%20management.pdf](https://www.cibtech.org/J-LIFE-SCIENCES/PUBLICATIONS/2011/Vol%201%20No%203/49%20MS%20JLS-01-03-032%20metabolites%20%20(Plutella%20xylostella%20L.)%20management.pdf)
- Sarfraz, M., Keddie, A. B., & Dossdall, L. M. (2005). Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: A review. *Biocontrol Science and Technology*, 15(8), 763-789. <https://doi.org/10.1080/09583150500136956>
- SAS Institute. (2011). *User's guide*, version 9.3. SAS Institute, Inc.
- Shelton, A. M., Sances, F. V., Hawley, J., Tang, J. D., Boune, M., Jungers, D., Collins, H. L., & Farias, A. J. (2000). Assessment of insecticide resistance after the outbreak of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in California in 1997. *Journal of Economic Entomology*, 93(3), 931-936. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.3.931>
- Uthamasamy, S., Kannan, M., Senguttuvan, K., & Jayaprakash, S. A. (2011). Status, damage potential and management of diamond back moth, *Plutella xylostella* in Tamil Nadu, India, Proceedings of the 6th International workshop on DBM, AVRDC, Taiwan, pp. 270-279.
- Xu, J., Liu, T., Leibe, G. L., & Jones, W. A. (2004). Effects of selected insecticides on *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae), a parasitoid of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Biocontrol, Science and Technology*, 14(7), 713-723. <https://doi.org/10.1080/09583150410001682395>
- Xu, J., Shelton, A. M., & Cheng, X. (2001). Comparison of *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) and *Microplitis plutellae* (Hymenoptera: Braconidae) as biological control agents of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): Field parasitism, insecticide susceptibility, and host-searching. *Journal of Economic Entomology*, 94(1), 14-20. <https://academic.oup.com/jee/article/94/1/14/2217351>
- Zalucki, M. P., Shabbir, A., Silva, R., Adamson, D., Liu, S. S., & Furlong, M. J. (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(4), 1115-1129. <https://doi.org/10.1603/EC12107>

Origen y financiación

Esta investigación se realizó conjuntamente con el Instituto Tecnológico Nacional de México y el Laboratorio de Entomología del INIFAP (Cede Bajo), financiada por CONACYT, número de beca 745032.

Contribución de los autores

Mario Zavala-García contribuyó a la redacción y revisión del artículo y búsqueda bibliográfica. Rafael Bujanos fue responsable de la dirección, diseño y supervisión del trabajo experimental, recolección de las muestras en el campo y crianza del

material biológico utilizado en esta investigación, además de la revisión y escritura

Jorge Covarrubias Prieto participó en el diseño del experimento, revisión de resultados, procesamiento de datos estadísticos, consulta de bibliografía y redacción y revisión del artículo.

Carlos Núñez participó en el planteamiento del experimento y revisión de resultados.

Juan Carlos Raya Pérez contribuyó a la redacción y revisión del artículo y búsqueda bibliográfica. Cesar L. Aguirre Mancilla contribuyó en la revisión del proyecto y en la redacción y revisión del artículo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún tipo de conflicto de intereses.