



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA MAESTRÍA EN PROTECCIÓN VEGETAL

EFFECTOS LETALES Y SUBLETALES DE INSECTICIDAS SOBRE
Diadegma insulare (HYMENOPTERA: ICHNEUMONIDAE) UN
PARASITOIDE DE *Plutella xylostella* (LEPIDOPTERA:
PLUTELLIDAE)

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

PRESENTA:

DANIEL RAMÍREZ CERÓN

BAJO LA SUPERVISIÓN DE: DR. SAMUEL RAMÍREZ ALARCÓN



Chapingo, Estado de México, mayo 2020



APROBADA

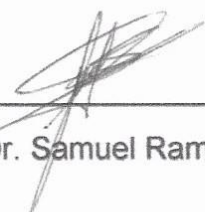


EFFECTOS LETALES Y SUBLETALES DE INSECTICIDAS SOBRE *Diadegma insulare* (HYMENOPTERA: ICHNEUMONIDAE) UN PARASITOIDE DE *Plutella xylostella* (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE).

Tesis realizada por **DANIEL RAMÍREZ CERÓN** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

Director:


Dr. Samuel Ramírez Alarcón

Asesor:


Dr. Esteban Rodríguez Leyva

Asesor:


M.C. Antonio Segura Miranda

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
DEDICATORIA	ix
AGRADECIMIENTOS	xi
DATOS BIOGRÁFICOS	xiii
RESUMEN GENERAL	xiv
ABSTRACT	xv
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Aspectos generales del cultivo de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var <i>italica</i>). 2	
2.1.1. Importancia	2
2.1.2. Usos.....	2
2.1.3. Clasificación taxonómica	3
2.1.4. Origen y distribución	3
2.1.5. Producción mundial	4
2.1.6. Producción nacional.....	4
2.2. Plagas del cultivo	5
2.3. Palomilla dorso de diamante, <i>Plutella xylostella</i> (Linnaeus) (Curtis) (Lepidoptera: Plutellidae)	6
2.3.1. Clasificación taxonómica	7
2.3.2. Descripción y biología.....	7
2.3.3. Daños	9
2.4. Estrategia de Manejo Integrado de Plagas.....	10
2.4.1. Control legal.....	10
2.4.2. Control cultural.....	11
2.4.3. Técnica insecto estéril (TIE)	11

2.4.4. Control químico.....	12
2.4.5. Control biológico	13
2.5. LITERATURA CITADA.....	16
3. ARTÍCULO CIENTÍFICO	23
3.1. INTRODUCCIÓN	25
4. MATERIALES Y MÉTODOS	26
4.1 Material biológico	26
4.2. Insecticidas.....	27
4.3 Bioensayos.....	28
4.3.1. Efecto letal por aplicación directa	28
4.3.2. Análisis de datos.....	29
4.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.4.1 Efecto letal por contacto directo.....	29
4.5. DISCUSIÓN	32
4.6. CONCLUSIÓN	33
4.7. LITERATURA CITADA.....	33
5.TOXICIDAD RESIDUAL Y EFECTOS SUBLETALES.....	36
5.1. MATERIALES Y MÉTODOS	36
5.2. Bioensayos.....	37
5.2.1. Toxicidad residual en semi-campo.....	37
5.3. Efectos subletales	38
5.3.1. Longevidad en adultos de <i>Diadegma insulare</i>	38
5.3.2. Número de huevos de <i>Diadegma insulare</i>	38
5.3.3 Análisis de datos	39
5.4. RESULTADOS	39
5.4.1. Residualidad de insecticidas en plantas de brócoli	39
5.5. Efectos subletales	41

5.5.1. Longevidad de adultos de <i>Diadegma insulare</i>	41
5.5.2. Cantidad de huevos en adultos de <i>D. insulare</i>	43
5.6. DISCUSIÓN	43
5.6.1. Periodo de residualidad de insecticidas en plantas de brócoli.	43
5.6.2. Efectos subletales.....	46
5.6.3. Longevidad de adultos de <i>Diadegma insulare</i>	46
5.6.4. Cantidad de huevos en adultos de <i>Diadegma insulare</i>	47
5.7. CONCLUSIONES GENERALES.....	47
6. LITERATURA CITADA	48
7. ANEXOS	53

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Insecticidas y concentración usadas en pruebas de toxicidad aguda en adultos de <i>Diadegma insulare</i>	27
Cuadro 2. Mortalidad de <i>Diadegma insulare</i> 24, 48 y 72 h después de la aplicación directa de insecticidas	31
Cuadro 3. Insecticidas y concentraciones evaluadas en exposición residual en adultos de <i>Diadegma insulare</i>	36
Cuadro 4. Toxicidad y persistencia de insecticidas sobre <i>Diadegma insulare</i> usando la clasificación de la IOBC	40
Cuadro 5. Mortalidad acumulada (%) de adultos de <i>Diadegma insulare</i> después de la exposición directa a diferentes productos.	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principales productores de brócoli en el mundo.	4
Figura 2. Producción nacional de brócoli.	5
Figura 3. Distribución mundial de <i>Plutella xylostella</i>	6
Figura 4. Adulto de la palomilla dorso de diamante (<i>Plutella xylostella</i>).	8
Figura 5. Daños en planta (A) y hoja (B) por larvas de <i>Plutella xylostella</i>	9
Figura 6. Cuadro Básico de Insecticidas (CBRI) en la región del Bajío, México, 2019	13
Figura 7. Parasitoides asociados a <i>P. xylostella</i> en diferentes etapas de desarrollo.	14
Figura 8. <i>Diadegma insulare</i> endoparasitoide de larvas de <i>Plutella xylostella</i> ..	15
Figura 9. Porcentaje de mortalidad de <i>Diadegma insulare</i> bajo condiciones de laboratorio ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, $60 \pm 10\%$ HR).	30
Figura 10. Mortalidad acumulada de <i>Diadegma insulare</i> en plantas de brócoli.	41
Figura 11. Longevidad de adultos de <i>Diadegma insulare</i>	42
Figura 12. Promedio de huevos en adultos de <i>Diadegma insulare</i>	43
Figura 13. Hembra de <i>Diadegma insulare</i> (A) morfología de ovariolas, Ova, ovariola (B) Hue, huevo, fuera de las ovariolas (C) Hue, huevo, dentro de las ovariolas (D).	53

DEDICADO A MI PADRE
ROBERTO RAMÍREZ CABALLERO
(1941-2020)

DEDICATORIA

- A Dios por estar siempre conmigo y darme la fortaleza para cumplir mis sueños.
- A mis padres **Roberto Ramírez Caballero** y **Adela Cerón Lucas** que han sido un pilar fundamental en mi formación personal y profesional, los cuales además de darme lecciones de vida, me apoyaron incondicionalmente para seguir estudiando y poder alcanzar mis sueños, ellos nunca desconfiaron de mí, sabían que siempre llegaría lejos.
- A mi familia (Hugo, René, Eddie, Arthur, Odi, Mireya) que siempre me han brindado su apoyo en mi recorrido personal y académico, además, me han ayudado a superar momentos difíciles en mi vida y me han inculcado el valor de la **perseverancia** obtenido de fórmula:
PERSEVERANCIA = FORTALEZA + CORAJE.
- A el amor de mi vida **Viridiana Luna Pérez** que desde que la conocí, siempre ha estado a mi lado, apoyándome y ayudándome a salir adelante, gracias, mil gracias, amor.

- A todos mis amigos y conocidos que en algún momento de mi vida coincidieron conmigo, gracias por brindarme su amistad y permitirme convivir con ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme otorgado la beca completa para la realización mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo por permitirme realizar mis estudios de Maestría en Protección Vegetal.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, por darme las facilidades y proporcionarme las herramientas necesarias para la realización de mis experimentos.

Al rancho Medio Kilo de la empresa "La Huerta", ubicada en Aguascalientes, por la disposición para proporcionar los parasitoides y por la logística para obtenerlos en las cantidades y momentos adecuados.

Al **Dr. Esteban Rodríguez Leyva** por brindarme su apoyo y las facilidades para poder realizar mis ensayos.

Al **M.C. Jorge Valdez Carrasco** por su gran ayuda y la atención brindada, ya que fue parte fundamental en la realización de mi trabajo.

Al **Dr. Lauro Soto Rojas**, por su gran apoyo en cuestiones estadísticas.

Al **Dr. Ariel W. Guzmán Franco** por su gran ayuda y apoyo en cuestiones estadísticas.

Al **M.C. Antonio Segura Miranda**, y a **Mary Espejel Cervantes**, por su apoyo incondicional en el medio académico.

Al **Dr. Samuel Ramírez Alarcón** por su total apoyo en la realización de mi tesis.

A mis amigos y compañeros de Chapingo y del Colegio de Postgraduados, muchas gracias por brindarme su amistad y su apoyo.

A mi gran familia que ha estado siempre dándome buenos consejos a lo largo de mi vida, y que además me ha enseñado el valor de la humildad y "que la humildad es la clave de todo éxito"

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre	Daniel Ramírez Cerón
Fecha de nacimiento	07 de enero de 1989
Lugar de nacimiento	Zapotitlán del Río, Sola de Vega, Oaxaca, México
No. Cartilla militar	2802076
CURP	RACD890107HOCMRN02
Profesión	Licenciado en Biología
Cédula profesional	10666180



Desarrollo académico

Preparatoria	Telebachillerato del Estado de Oaxaca (2003-2006)
Licenciatura	Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan (ITCP; 2012-2016)
Maestría	Maestría en Ciencias en Protección Vegetal, en la Universidad Autónoma Chapingo (2018-2020)

**¹EFFECTOS LETALES Y SUBLETALES DE INSECTICIDAS SOBRE
Diadegma insulare (HYMENOPTERA: ICHNEUMONIDAE) UN PARASITOIDE
DE *Plutella xylostella* (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE).**

RESUMEN GENERAL

Plutella xylostella es la plaga más importante de brasicáceas en México y el mundo, y su manejo se basa principalmente en el control químico, lo que afecta negativamente a sus enemigos naturales. El objetivo de este trabajo fue determinar la toxicidad letal, residual (persistencia) y subletal de insecticidas sobre el principal parasitoide de *P. xylostella* en México, *Diadegma insulare*. Se evaluaron las dosis recomendadas de nueve insecticidas autorizados en brócoli, un adherente (Inex-A®) y un testigo absoluto (agua). La toxicidad por exposición directa se evaluó sobre adultos del parasitoide en una torre de Potter. Spirotetramat, piridialil e Inex-A ocasionaron, 72 h después de la aplicación, 64, 48 y 27% de mortalidad, respectivamente. El resto de los insecticidas (benzoato de emamectina, spinosad, spinoteram, imidacloprid, indoxacarb, flonicamid y naled) ocasionaron 100% de mortalidad después de 24 h; el testigo no excedió el 10% de mortalidad. Para toxicidad residual se empleó la técnica de superficie contaminada; se usaron discos foliares de plantas de brócoli asperjadas con insecticidas. Se evaluaron siete productos y, según la escala de la Organización Internacional de Control Biológico, se necesitaron 17 días después de la aspersión para que piridialil, spirotetramat, naled y flonicamid se clasificaran como moderadamente persistentes (Categoría 3), y de 26 a 30 días para que imidacloprid, indoxacarb y spinosad alcancen la misma categoría. Spirotetramat, piridialil e Inex-A ocasionaron efectos subletales en longevidad. En los primeros 10 días de vida de los parasitoides esos dos insecticidas y el adherente ocasionaron 74.2, 64.2 y 43% de mortalidad, cuando el testigo tuvo 19.5%, y este efecto se incrementó con la edad. El piridialil ocasionó reducción del 13% en el número de huevos respecto al testigo. En este trabajo se discuten estos efectos sobre el parasitoide.

PALABRAS CLAVE: Palomilla dorso de diamante, control biológico, parasitoide, insecticidas.

¹Tesis de Maestría en Ciencias, Posgrado en Protección Vegetal, Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Biol. Daniel Ramírez Cerón

Director de tesis: Dr. Samuel Ramírez Alarcón

²LETHAL AND SUBLETHAL EFFECTS OF INSECTICIDES ON *Diadegma insulare* (HYMENOPTERA: ICHNEUMONIDAE), A PARASITOID OF *Plutella xylostella* (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE)

ABSTRACT

Plutella xylostella is the most important pest of Brassicaceae in Mexico and the world, and its management is mainly based on chemical control, which negatively affects their natural enemies. The objective of this work was to determine the lethal, residual (persistence) and sublethal toxicity of insecticides on the main parasitoid of *P. xylostella* in Mexico, *Diadegma insulare*. The recommended doses of nine authorized broccoli insecticides, one adherent (Inex-A®) and one absolute control (water) were evaluated. Direct exposure toxicity was evaluated on parasitoid adults in a Potter tower. Spirotetramat, pyridalyl and Inex-A caused, 72 h after application, 64, 48 and 27% mortality of the parasitoid, respectively. The rest of the insecticides (emamectin benzoate, spinosad, spinoteram, imidacloprid, indoxacarb, flonicamid and naled) caused 100% mortality after 24 h; the control did not exceed 10% mortality. For residual toxicity, the contaminated surface technique was used. Cutting and using leaf discs of broccoli plants sprayed with insecticides, seven products were evaluated. According to the scale of the International Organization for Biological Control, it took 17 days after spraying for pyridalyl, spirotetramat, naled and flonicamid to be classified as moderately persistent (Category 3), and from 26 to 30 days so that imidacloprid, indoxacarb and spinosad would reach the same category. Spirotetramat, pyridalyl and Inex-A caused sublethal effects on longevity. In the first 10 days of parasitoid life, these two insecticides and the adherent caused 74.2, 64.2 and 43% mortality, when the control had 19.5%, and this effect increased with age. Pyridalyl caused a 13% reduction in the number of eggs compared to the control. These effects on the parasitoid are discussed in this document.

KEYWORDS: diamondback moth, biological control, parasitoid, pesticide.

²Master of Science Thesis, Postgraduate in Plant Protection, Department of Agricultural Parasitology, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Biol. Daniel Ramírez Cerón
Thesis Director: Dr. Samuel Ramírez Alarcón.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) es una de las hortalizas que ha adquirido una importancia creciente en México en los últimos 30 años; actualmente es una fuente importante de divisas para México, demanda gran cantidad de mano de obra (lo que genera miles de empleos), y favorece el desarrollo de otras industrias como las empacadoras y congeladoras (Maldonado-Montalvo, et al., 2017). Anualmente se siembran alrededor de 34,274 ha de brócoli en todo el país, pero Guanajuato es el principal productor y aporta el 64% del total nacional (SIAP, 2019).

El principal destino del brócoli que se produce en México es el mercado de exportación, y los compradores más importantes son Estados Unidos de América y Canadá, y en menor proporción Japón y algunos países de Europa (SIAP, 2019). A pesar de su importancia, existen diferentes dificultades que enfrentan los productores, entre éstas a las plagas que atacan al cultivo en diferentes etapas de desarrollo. De las plagas, una de las de mayor importancia económica es *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) o palomilla dorso de diamante (Bujanos et al., 2013).

El daño que ocasiona *P. xylostella* en los dos primeros meses de desarrollo del cultivo en campo generalmente no afectan el rendimiento, y el umbral de acción se considera de 0.5 hasta 1.0 larva por planta. No obstante, el principal daño de esta plaga es indirecto y estético, la presencia de una sola larva o pupa en la cabeza o fruto comercial de brócoli es castigada en las procesadoras. Este castigo inicia con disminuir el precio, pero si se detectan varias larvas de *P. xylostella* se puede llegar a rechazar el producto (Martínez-Castillo et al., 2002; Bujanos et al., 2013; Martínez-Jaime et al., 2017). Esta situación ocasiona que los productores no toleren la presencia de poblaciones de *P. xylostella*, particularmente 45-55 días después de la plantación, que es cuando comienza a

iniciar la formación de la pella o cabeza del brócoli. Las tres tácticas principales de control de *P. xylostella* en Guanajuato, México, son el control cultural, el control legal con fechas determinadas para la plantación (que se respetan sobre todo en la zona del Bajío, considerados periodos de VEDA) y el control químico. Existe una lista de insecticidas organosintéticos que se usan en brócoli, los productores que exportan tienen que respetar la lista de productos y recomendaciones de los países destino, para no incurrir en errores que pueden castigarse en sus productos (Carrillo et al., 2006; Tovar et al., 2007; Bujanos et al., 2013).

Existe información para asegurar que aun con las exigencias de los mercados internacionales en la detección de residuos de plaguicidas, y con las recomendaciones en el uso de insecticidas, *P. xylostella* sigue siendo un problema importante como plaga por su potencial para desarrollar rápidamente resistencia a casi a todo tipo de insecticidas, incluyendo grupos como: organofosforados, piretroides, carbamatos, reguladores de crecimiento (Hill y Foster, 2000; Sayani et al., 2019). A esa lista también se incluyen los productos denominados de nueva generación tales como diamidas, spinosinas, indoxacarb, y biológicos como *Bacillus thuringiensis* (Bt) (Zhao et al., 2002; Jiang et al., 2015).

La dependencia de insecticidas para el combate de *P. xylostella* ha ocasionado la disminución de agentes de control, depredadores y parasitoides, que pueden tener un papel importante en la regulación de esta plaga. En búsqueda de mejores propuestas de manejo de *P. xylostella* recientemente se está dando la importancia al papel que juegan los enemigos naturales sobre la regulación de plagas. Básicamente, se busca mejorar la estrategia de Manejo Integrado de Plagas (MIP) con la conservación de la fauna benéfica disponible, disminuyendo aplicaciones innecesarias de plaguicidas (Furlong et al., 2008; Balmer et al., 2013).

En caso de ser necesarias las aplicaciones de insecticidas para el combate de *P. xylostella* se debe establecer, con precisión, que plaguicidas tienen efectos menos adversos a sus enemigos naturales. Por ello se requieren más estudios

de laboratorio y campo que determinen los efectos de insecticidas en los enemigos naturales, y cómo afectan su comportamiento y fluctuación poblacional (Desneux et al., 2007). El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos letales y subletales de insecticidas autorizados en brócoli sobre *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae), el cuál es el enemigo natural más abundante de *P. xylostella* en la zona de Guanajuato.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aspectos generales del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea var italica*)

2.1.1. Importancia

Las hortalizas tienen un papel importante en la dieta de la población mundial debido a las vitaminas y antioxidantes que proporcionan. Se considera que el brócoli es una de las hortalizas que tienen un elevado valor nutritivo por su aporte de vitamina C, potasio y fósforo, además de una gran cantidad de fibra de excelente calidad (Vera-Sánchez et al., 2016).

El brócoli tiene una importancia comercial relevante en México, es una fuente importante de divisas, genera miles de empleos de manera directa, pero también en su procesamiento, distribución, comercialización y exportación. La región del Bajío, pero específicamente Guanajuato, es una de las principales productoras de esta hortaliza a nivel nacional (Maldonado-Montalvo et al., 2017; SIAP, 2019)

2.1.2. Usos

Esta hortaliza tiene diversos usos en las cocinas de todo el mundo, gracias a su alto contenido en fibra, vitaminas, potasio, fósforo y calcio. Además, puede ser ingerido crudo o cocido (sopas, cremas, ensaladas, licuados), pero se recomienda consumirlo crudo o al vapor para aprovechar mejor sus propiedades (Jaramillo y Díaz, 2006).

Los residuos pueden utilizarse para la producción de compost para aportar nutrientes y activar la microflora del suelo (Jaramillo y Leyva, 2002).

2.1.3. Clasificación taxonómica

El brócoli pertenece a la familia de las crucíferas y al género *Brassica*, al igual que otras hortalizas de importancia económica como la coliflor, el rábano, el repollo, etc. (López-Chillón et al., 2017).

La clasificación actual de la familia Brassicaceae se basa en una revisión de Schultz (1936), este autor redujo el número de tribus de 19 a 15 y es la que se usó para el resumen descriptivo de la especie (Gómez-Campo, 1999).

REINO: Plantae

DIVISION: Magnoliophyta

CLASE: Dicotyledonea

ORDEN: Brassicales

FAMILIA: Brassicaceae (Crucíferas)

GÉNERO: *Brassica*

ESPECIE: *Brassica oleracea* var
italica

2.1.4. Origen y distribución

El origen del brócoli, cuyo significado es “rama” o “brazo”, se puede situar en el Mediterráneo Oriental y Oriente (Italia, Líbano, Siria) hace aproximadamente 2,500 años (Martínez-Ballesta et al., 2008). Antiguamente en el siglo XVI los romanos ya cultivaban esta hortaliza, y antes de ser usada como alimento se utilizó en el ámbito medicinal contra la diarrea, sordera y dolor de cabeza. Su popularidad y expansión se presentó en el siglo XX y dominó primero Europa y después Estados Unidos de América (Jaramillo y Díaz, 2006). En 1994, con el establecimiento del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), se expandió el sector hortícola en México, con esto México se convirtió en uno de los principales países exportadores de hortalizas frescas y congeladas, y el brócoli figura como una de las hortalizas en fresco y congeladas que ocupan el primer lugar a nivel nacional y quinto lugar a nivel mundial (Cesaveg, 2001; Maldonado-Montalvo et al., 2017)

2.1.5. Producción mundial

La demanda de brócoli en el mundo ha ido en constante crecimiento en países desarrollados. La producción de brócoli a nivel mundial alcanzó los 50.78 millones de toneladas en 2018 (Figura 1).

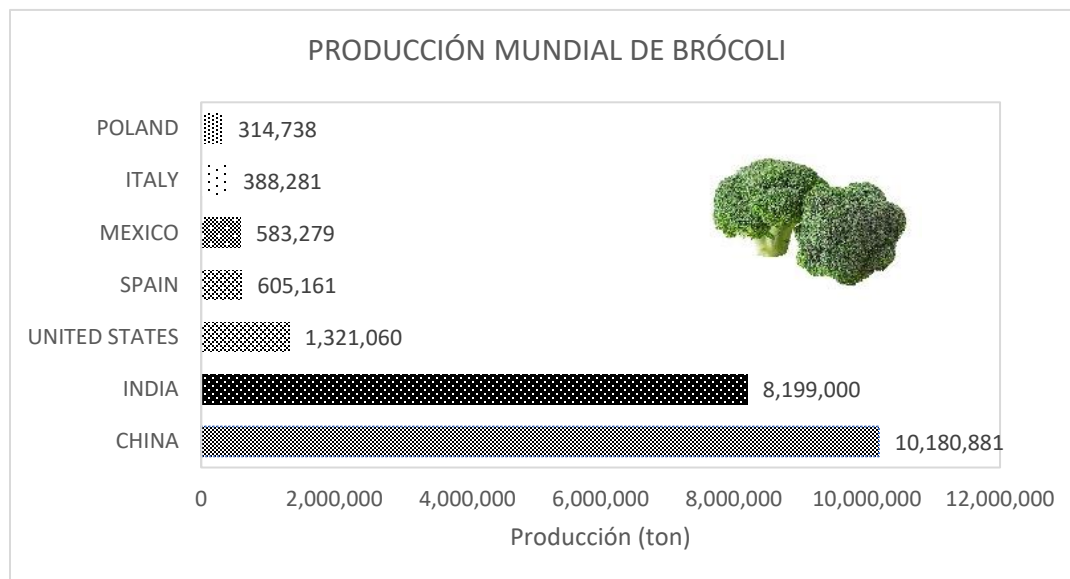


Figura 1. Principales productores de brócoli en el mundo (Tridge, 2019).

En 2018 China, que es el primer productor mundial, tuvo una producción de 10,180,881 t, lo que representó el 40.4% de la producción mundial. Después de China le siguieron India, con 8,199,000 t (32.5%), Estados Unidos de América, con 1,321,060 t (5.2%), España, con 605,161 t (2.4%) y México, en quinto lugar, con 583,279 t (2.3%) (Figura 1) (FAO, 2017).

2.1.6. Producción nacional

En 2019 la superficie sembrada de brócoli en México fue de 34,351 ha, de las cuales se obtuvieron 583,279 toneladas. (SIAP, 2019). La mayor parte de la producción se obtiene en el ciclo primavera-verano y el resto en otoño-invierno. En proporción esto representa el 56% y 44%, respectivamente. El estado de Guanajuato es el principal productor con 413,084 t, le sigue Puebla con 44,356 t, Sonora con 26,703 t y Jalisco con 24,135 t (Figura 2) (SIAP, 2019).

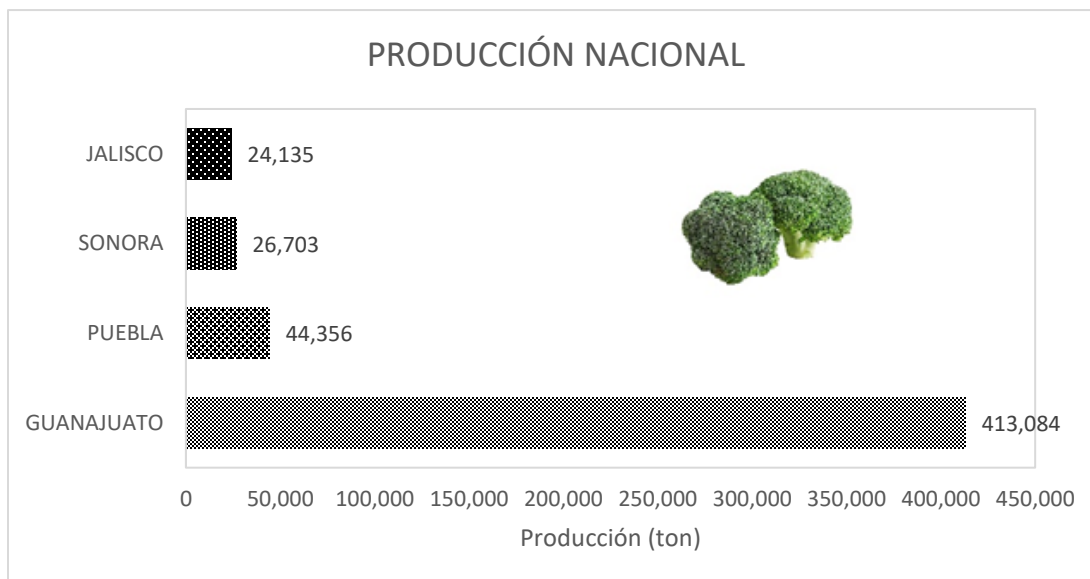


Figura 2. Producción nacional de brócoli (SIAP, 2019).

2.2. Plagas del cultivo

Los efectos de las plagas han sido más marcados en el siglo pasado y lo que va del presente, seguramente está relacionado con el incremento en superficies de cultivo, propuestas de manejo no coordinadas por regiones, malas prácticas de control y desplazamiento de plagas por el comercio local e internacional (Rodríguez-del-Bosque y Arredondo-Bernal, 2007). Prácticamente todas las plagas pueden incluirse en alguno de los siguientes organismos.

Patógenos (Hongos, bacterias virus, viroides, fitoplasmas)

Malezas (arvenses)

Nematodos

Moluscos (Caracoles y babosas)

Vertebrados (Aves, mamíferos, reptiles, anfibios)

Artrópodos (insectos, ácaros)

En el caso del brócoli, las principales plagas que afectan al cultivo son: gusano falso medidor *Trichoplusia ni* (Hübner), pulgón de la col *Brevicoryne brassicae* (L.) y la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* (L.). Además de otras plagas secundarias. No obstante, *P. xylostella* se considera la plaga más importante de crucíferas, debido a su complicado manejo y control (Bujanos et al., 2013).

2.3. Palomilla dorso de diamante, *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Curtis) (Lepidoptera: Plutellidae)

La palomilla dorso de diamante, *P. xylostella*, es una plaga cosmopolita originaria del Mediterráneo o el sur de África, pero ahora está presente en todo el mundo donde se cultivan crucíferas (Figura 3) (Philips et al., 2014).



Figura 3. Distribución mundial de *Plutella xylostella* (CABI, 2019).

Se considera una de las plagas más destructivas de cultivos de brócoli y otras brasicáceas en el mundo, además, para su combate se generan costos elevados por la aplicación de plaguicidas y otras prácticas culturales que asciende a millones de dólares anuales (Jafary-Jahed et al., 2018; Qin et al., 2018).

Este lepidóptero tiene un efecto indirecto, aunque no afecta su rendimiento si lo hace de manera estética. La presencia de este insecto en cualquiera de sus estadios, o sus excretas, en la pella o cabeza (conjunto de floretes) ocasiona

pérdidas económicas debido a la disminución del precio o al rechazo del producto. La presencia de larvas en el fruto comercial es uno de los principales problemas que enfrentan los productores de brócoli y otras crucíferas en México. Debido a los riesgos de ser castigados en el precio del producto como consecuencia de la presencia de larvas de *P. xylostella*, se ha establecido un umbral de acción bajo (0.5 larvas a los primeros 55 días, y 0.2 larvas de los 55 hasta el último corte). Esta situación ocasiona que una de las tácticas de control más utilizadas sea el control químico. No obstante, esta táctica ha llevado a tener problemas como la resistencia a ciertos productos insecticidas (Bujanos et al., 2013).

2.3.1. Clasificación taxonómica

La taxonomía de *P. xylostella*, corroborada con Invasive Species Compendium, y la página North Dakota State University es: (CABI, 2019):

REINO: Animal

PHYLLUM: Arthropoda

CLASE: Insecta

ORDEN: Lepidoptera

FAMILIA: Plutellidae

SUBFAMILIA: Plutellinae

GÉNERO: *Plutella*

ESPECIE: *P. xylostella*

2.3.2. Descripción y biología

Plutella xylostella, o palomilla dorso de diamante, es un insecto de color café grisáceo, y mide aproximadamente entre 8 y 10 mm. El adulto tiene tres marcas triangulares en el margen de las alas, estas marcas son más visibles cuando no están en movimiento con las alas plegadas formando tres diamantes sobre el dorso (Figura 4). Es un insecto holometábolo (huevo, larva, pupa y adulto), multivoltino de hasta 20 generaciones al año en climas tropicales, con una

duración de huevo a adulto que va de 16 días para las hembras y 12 para los machos, con temperaturas mayores a 7.3°C. En la zona del bajío en Guanajuato, México, en los meses de abril a mayo su ciclo biológico se completa en menor número de días debido a las altas temperaturas que van de los 19 a 35 °C (Bujanós et al., 2013; Philips et al., 2014).



Figura 4. Adulto de la palomilla dorso de diamante (*Plutella xylostella*).

Los huevos son de forma oval pequeños y amarillentos de aproximadamente 0.4 mm los cuales se pueden observar con ayuda de una lupa manual. Las hembras colocan los huevos normalmente en el envés de las hojas, y lo pueden hacer a partir de que emergen durante los próximos 10 días, el promedio de huevos por hembra es de 150, la incubación dependerá de la temperatura (Capinera, 2000; Philips et al., 2014).

Luego de la eclosión de los huevos las larvas pasan por cuatro instares, los últimos dos instares son los que causan el mayor daño debido a que se alimentan de la lámina foliar, brotes y flores; el periodo larval tiene una duración promedio de 10 a 24 días dependiendo la temperatura (Hermansson, 2016).

Después del cuarto instar la larva deja de alimentarse y construye una red de seda alrededor de su cuerpo (capullo), en ese periodo medirá aproximadamente de 7 a 9 mm y ha comenzado el periodo prepupal; la pupa tiene una duración

promedio de 13 días. En brócoli y coliflor la pupa puede aparecer en la cabeza y su presencia será objeto de castigo en el precio, o de rechazo dependiendo del mercado de destino (Ronald, 1992; Bujanos et al., 2013).

2.3.3. Daños

El daño principal de este lepidóptero es causado durante su etapa de desarrollo larval, aunque son muy pequeñas, se alimentan del follaje y además perforan los floretes ocasionando daños directos (Figura 5). No obstante, el principal daño es indirecto, ya que la presencia de larvas o pupas no se tolera en el producto final; los problemas son la disminución del precio por la presencia de larvas o pupas, pero se puede llegar al rechazo del producto, lo que provoca pérdidas de millones de dólares (Xu et al., 2001 a, b; Xu et al., 2004; Liu et al., 2012).

Estas exigencias internacionales de no presencia de larvas en el producto final, ocasiona que la principal táctica de combate sea el control químico, que ha favorecido la selección de resistencia. Se tiene reportes que *P. xylostella* ha adquirido resistencia a más de 93 insecticidas incluso a productos químicos de nueva generación como neonicotinoides, spinosinas, avermectinas (abamectina y benzoato de emamectina), indoxacarb, y *Bacillus thuringiensis* (Jafary-Jahed et al., 2018; Sayani et al., 2019).

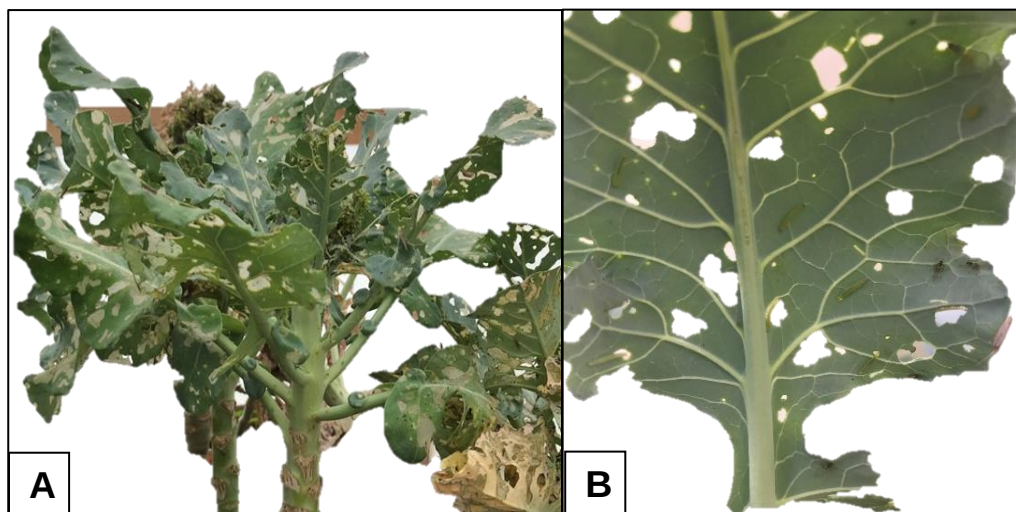


Figura 5. Daños en planta (A) y hoja (B) por larvas de *Plutella xylostella*

La respuesta de *P. xylostella* a la presión de selección posiblemente se deba a su plasticidad genética, tiempo de generación menor a un mes y alta fecundidad, factores que la han convertido en una de las plagas difíciles de controlar (Li et al., 2006; Pu et al., 2010; Liu et al., 2012; Qin et al., 2018).

2.4. Estrategia de Manejo Integrado de Plagas

Actualmente se han desarrollado diferentes tácticas dentro de la estrategia de manejo integrado de plagas (MIP) para el combate de *P. xylostella*, se debe mencionar que la estrategia MIP siempre considera el papel del control natural (factores bióticos y abióticos), pero en la mayoría de las ocasiones no se conoce con precisión ni se sabe cómo favorecerlo o mejorarlo. En el caso de *P. xylostella* en Guanajuato, existen varias referencias donde se indica un nivel elevado de parasitismo natural por *Diadegma insulare* (Martínez-Castillo et al., 2002), pero hasta ahora no se ha determinado como se puede favorecer, y que papel puede tener en el MIP para que contribuya a la disminución en el uso de plaguicidas.

2.4.1. Control legal

Para controlar *P. xylostella* el gobierno federal en coordinación con Comité Técnico de las Congeladoras (COTECO), Sistema Producto Brócoli del Estado de Guanajuato A. C., y el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato (CESAVEG), han establecido, a través de normas oficiales, un periodo obligatorio libre del cultivo de crucíferas en una región (=veda) el cual es indispensable para romper el ciclo de *P. xylostella*. Con esta disposición no se permite el desarrollo continuo de poblaciones de la plaga todo el año, además de la reducción del uso de insecticidas, manteniendo el comercio de exportación. Este control legal de *P. xylostella* se está implementado en el Bajío en Guanajuato, y comprende del 1 mayo al 15 de junio. El control legal para *P. xylostella* no se ha logrado implementar en la parte norte de Guanajuato, en los alrededores de Dolores Hidalgo, y esa es una de las razones porque los productores de esa zona del estado tienen muchos más problemas para controlar a la plaga (DOF, 2001; CESAVEG, 2017).

2.4.2. Control cultural

Una de las primeras reglas para iniciar una plantación de brócoli es comenzar en un terreno donde no se cultivaron crucíferas, es decir la rotación de cultivos con plantas no susceptibles a la plaga de interés es indispensable para disminuir el problema. El siguiente elemento indispensable para iniciar una plantación es tener un campo libre de residuos de cosecha, para ello previamente se debió haber realizado desvare, rastreo y barbecho. Es obligatorio que el terreno se prepare con anticipación, al menos tres semanas antes de la plantación, de esta manera se asegura que no habrá residuos que pudieran ser fuente de insectos plaga para la nueva plantación. Además de las medidas culturales obligatorias, se debe insistir que una plantación se debe iniciar con planta sana (sin enfermedades) y no infestada por plagas. Obviamente no debe haber infestación de la plaga problema (ni de ninguna otra) en semillero, ni de donde se obtendrá la plántula para iniciar una plantación (Webb et al., 2016; CESAVEG, 2017).

2.4.3. Técnica insecto estéril (TIE)

Esta técnica se utiliza desde hace ya varios años con el objetivo de controlar plagas de importancia económica en áreas ecológicas determinadas. El caso más famoso es del gusano barrenador del ganado (*Cochliomyia hominivorax*) (Wyss, 2000), pero ahora uno de los casos más exitosos son el combate de la Mosca del Mediterráneo (*Ceratitis capitata*) y moscas mexicanas de la fruta (*Anastrepha ludens*) en México, con los programas MOSCAMED y MOSCAFRUT del SENASICA (SENASICA, 2014). La técnica consiste de manera muy resumida en la cría masiva de la especie problema, la esterilización de machos y su liberación. Así, los machos estériles se aparearán con las hembras silvestres y no dejarán descendencia fértil (SENASICA, 2014). Está técnica sólo es posible cuando se logra reducir a poblaciones silvestres a niveles muy bajos, con todas las tácticas del MIP, y posteriormente se liberan los machos estériles.

La TIE se ha ensayado de manera experimental sobre *P. xylostella*, los insectos se esterilizan con cobalto-60, y más recientemente se han realizado algunas

propuestas con insectos transgénicos. No obstante, aún no se practica de manera comercial (Chen et al., 2019)

2.4.4. Control químico

Debido a la exigencia del mercado, a la presentación estética del producto, pero sobre todo a la no tolerancia de larvas de *P. xylostella* en el fruto comercial (pella o cabeza de floretes), el control químico se emplea como una de las tácticas de combate más frecuente (Bujanos et al., 2013). El uso de plaguicidas tiene un papel importante en el manejo de *P. xylostella*, pero su aplicación constante ha generado problemas, por ejemplo: el desarrollo de resistencia a productos químicos, resurgimiento de plagas secundarias, contaminación al ambiente, riesgos a la salud, costos de producción y disminución de la fauna benéfica (Bennett et al., 2013; Ramírez-Bustos et al., 2018).

El brócoli que se produce en México se destina sobre todo a la exportación, entonces les corresponde a los productores cumplir los requerimientos del uso de plaguicidas, según la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos de América (SIAP, 2019). Algunas de las de las recomendaciones para el uso correcto de plaguicidas en el cultivo de brócoli en México se pueden resumir de la manera siguiente.

1) Hacer aplicaciones correctamente utilizando el Cuadro Básico de Recomendación de Insecticidas (CBRI) propuesto por el comité de sanidad vegetal de la región (Figura 6), rotación de insecticidas con diferente modo de acción además de tener en cuenta los umbrales de acción (0.5 larvas por planta del trasplante a los 55 días y 0.2 larvas de los 55 días al último corte).

2) No utilizar insecticidas que no estén en el CBRI o que representen riesgo de residualidad, no incrementar dosis ni tampoco usar mezclas de insecticidas ya que se puede seleccionar por resistencia a múltiples sustancias químicas.

3) Tratar de no utilizar insecticidas de amplio espectro, usando solo insecticidas específicos, permitiendo el desarrollo de la fauna benéfica (parasitoides, depredadores) que puedan tener un papel importante en la regulación de esta plaga (Capinera, 2000; Bujanos et al., 2013; CESAVEG, 2019).

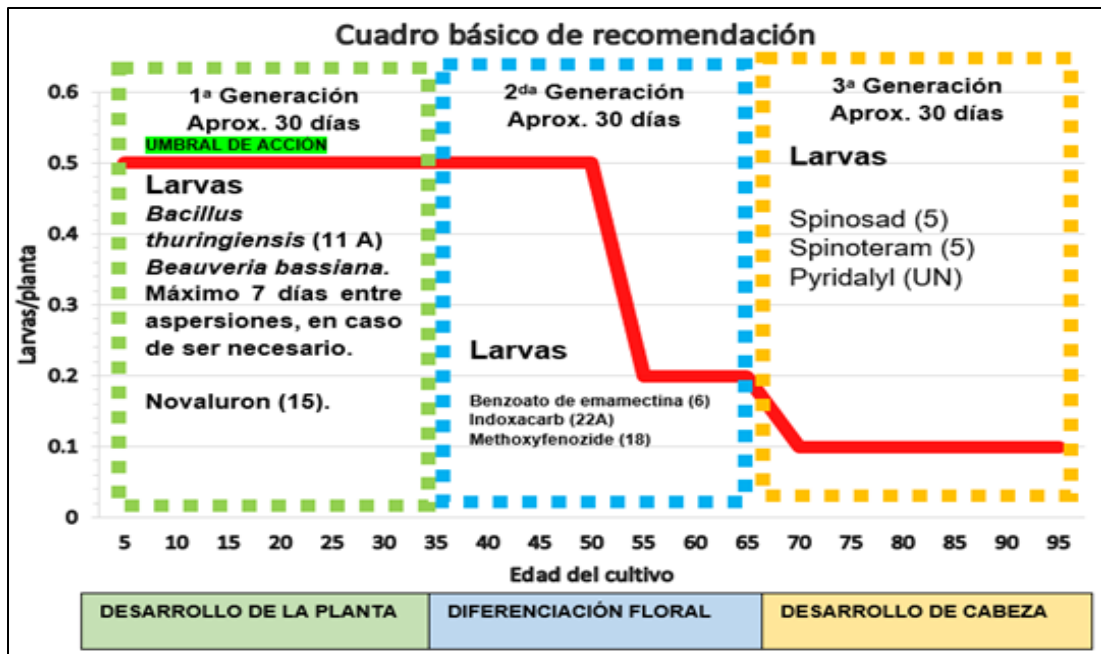


Figura 6. Cuadro Básico de Insecticidas (CBRI) en la región del Bajío, México, 2019. (CESAVEG, 2019).

2.4.5. Control biológico

Existen diferentes parasitoides que atacan a *P. xylostella* en diferentes etapas de desarrollo (Figura 7). Hasta el momento se ha identificado más de 135 especies dentro de las cuales se destacan tres géneros importantes, *Diadegma*, *Cotesia* y *Microplitis* (Xu et al., 2001a; Munir et al., 2016).

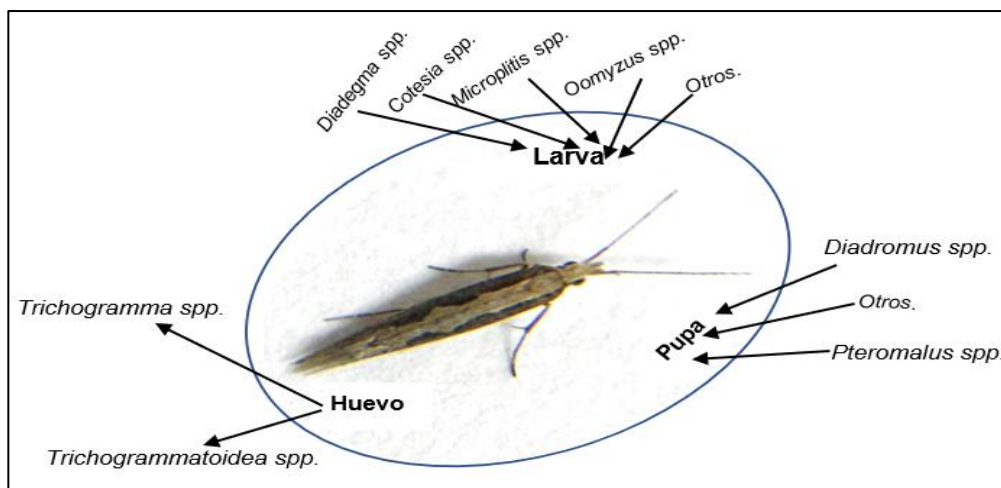


Figura 7. Parasitoides asociados a *P. xylostella* en diferentes etapas de desarrollo (Sarfranz et al., 2005).

Diadegma insulare (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae) es uno de los enemigos naturales de *P. xylostella* (Figura 8) más abundante en Centro América, México, Estados Unidos de América y Canadá, (Araya et al., 1999; Xu et al., 2001a; Martínez-Castillo et al., 2002). Es un endoparasitoide solitario de larvas, parasita desde el primero hasta el tercer estadio larval (Sarfranz et al., 2009; Martínez-Jaime et al., 2017). Además de ser competitivo desde el punto de vista biológico, y de amplia adaptación a diferentes ambientes, es considerado uno de los enemigos naturales más sobresalientes y abundantes de *P. xylostella* en regiones Neárticas y Neotropicales (Hill y Foster, 2000; Xu et al., 2001b; Xu et al., 2004; Cordero et al., 2007; Munir et al., 2016).

El parasitismo sobre larvas de *P. xylostella* en California, EE. UU., alcanzó el 71%, y en Texas se registró hasta el 98% (Sarfranz et al., 2005). En México los niveles más altos de parasitismo se registraron en primavera-verano con 44.5% (Bujanos et al., 2013). Estos porcentajes de parasitismo natural en Norteamérica, y particularmente en México, conducen a considerar que *D. insulare* es uno de los parasitoides que puede contribuir al manejo de *P. xylostella*, ya sea por control biológico por conservación, o donde sea posible por la metodología de aumento (Xu et al., 2001a).

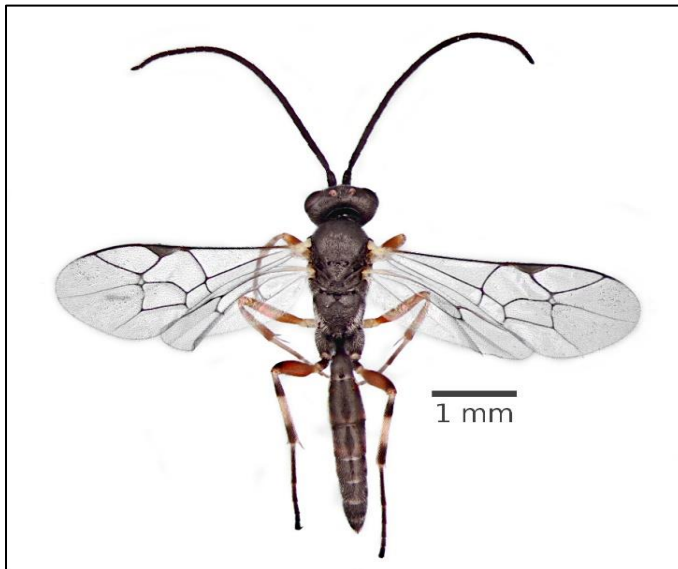


Figura 8. *Diadegma insulare* endoparasitoide de larvas de *Plutella xylostella*.

Actualmente se estudia la posibilidad de realizar ensayos sobre liberaciones inundativas de *D. insulare* en campo en Guanajuato; sin embargo, existen dudas sobre los efectos que puedan tener los insecticidas utilizados para el control de *P. xylostella* y otras plagas en crucíferas. Antes de hacer una propuesta de manejo de la utilización de este parasitoide, es importante conocer los efectos letales y subletales de los insecticidas utilizados para el control de *P. xylostella* y otras plagas, y el impacto que puede tener sobre *D. insulare*.

Si bien se han hecho esfuerzos para usar insecticidas menos agresivos con la fauna benéfica, está documentado que luego de la aplicación de un plaguicida existe un efecto letal y subletal sobre los enemigos naturales (Cloy y Dickinson, 2006) y la suma de estos efectos puede alterar sus características fisiológicas y/o de comportamiento como: desarrollo, fertilidad, cambios en la tasa de parasitismo, longevidad, proporción de sexos, y emergencia de adultos. (Stanley y Preetha, 2016). Por esta razón los efectos subletales deben incluirse siempre en la evaluación de un plaguicida y los insectos benéficos, para proporcionar información más precisa del impacto de un plaguicida sobre enemigos naturales,

ya que son muy importantes desde el punto de vista del manejo de plagas (Amarasekare y Shearer, 2013).

2.5. LITERATURA CITADA

- Amarasekare, K. G., y Shearer, P. W. (2013). Laboratory Bioassays to Estimate the Lethal and Sublethal Effects of Various Insecticides and Fungicides on *Deraeocoris brevis* (Hemiptera: Miridae). *Journal of Economic Entomology*, 106(2), 776–785. doi:10.1603/EC12432.
- Araya, R.L. Monge, V.L. Carazo, R. E. y Cartín, L. V. (1999). Diagnóstico del uso de insecticidas para el combate de *Plutella xylostella* en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas*, 52, 49-61.
- Balmer O., Pfiffner L., Schied J., Willareth M., Leimgruber A., Luka H. y Traugott M. (2013). Noncrop flowering plants restore top-down herbivore control in agricultural fields. *Ecolgy and evolution*, 3(8), 2634-2646.
- Bennett, A. B., Chi-Ham, C., Barrows, G., Sexton, S., y Zilberman, D. (2013). Agricultural biotechnology: Economic, environment, ethics and the future. *Annual Review of Environment and Resources*, 38(14), 249-279. doi: 10.1146/annurev-environ-050912-124612.
- Bujanos, M.R., Marín, J. A., Díaz, L. E., F. L., Gámez, V. A., Ávila, P. M., Herrera, V. R., Augusto, D.G.J., y Gámez, V. F. (2013). Manejo integrado de la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* (L.) en la región del Bajío, México. Celaya, Gto. México. *Folleto Técnico*, 27, 1-44.
- CABI, (2019). Invasive Species Compendium. Datasheet report for *Plutella xylostella* (diamondback moth) Taxonomic Tree. Recuperado de <https://www.cabi.org/isc/>.
- Capinera, J. (2000). Diamondback moth. Recuperado de http://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/leaf/diamondback_moth.htm.
- Carrillo D., Serrano M. S., y Torrado-León E. (2006). Efecto de plantas nectaríferas sobre la reproducción de *Diadegma insulare* Cresson (Hymenoptera: Ichneumonidae), parasitoide de *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 32(1).18-23.
- CESAVEG (Comité estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato). (2017). Boletín de alerta contra la palomilla dorso de diamante. Recuperado de <http://www.fundacionguanajuato.mx/eventos/BoletinDorso.pdf>.
- CESAVEG (Comité estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato). (2019). Boletín de alerta contra la palomilla dorso de diamante. Recuperado de <http://www.cesaveg.org.mx/boletines/PALOMILLA%20DORSO%20BOLETIN%20NO%202.pdf>.

- CESAVEG (Comité Estatal de Sanidad Vegetal Guanajuato) (2001). Contingencia de manejo fitosanitario de crucíferas. Brócoli, coliflor y col. México, 1-4.
- Chen, W., Yang, F., Xu, X., Kumar, U., He, W., y You, M. (2019). Genetic control of *Plutella xylostella* in omics era. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 102 (3), 1-6. doi: 10.1002/arch.21621.
- Cloyd, R. A., y Dickinson, A. (2006). Effect of insecticides on Mealybug Destroyer (Coleoptera: Coccinellidae) and parasitoid *Leptomastix dactylopii* (Encyrtidae), natural enemies of citrus Mealybug (Homoptera: Pseudococcidae). *Journal of Economic Entomology*, 99(5), 1596-1604. doi:10.1093/jee/99.5.1596.
- Cordero, R. J., Bloomquist, J. R., y 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*, 98(2), 48-54. doi: 10.1093/jee/98.2.449.
- Desneux, N., Decourtye, A., y Delpuech, Jean-Marie. (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual review of entomology*, 52, 81-106. doi: 10.1146/annurev.ento.52.110405.091440.
- DOF. (2001). Manejo y eliminación de focos de infestación de plagas, mediante el establecimiento o reordenamiento de fechas de siembra, cosecha y destrucción de residuos. NOM-081-FITO-2001. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/204097/NOM-081-FITO-2001_18092002.pdf.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2017). faostat Statistical Databases. Recuperado de <http://faostat.fao.org/site/351/default.aspx>.
- Furlong, M.J., Ju, K.H., Su, P.W., Chol, J.K., Chang Il, R., y Zalucki, M.P. (2008). Integration of endemic natural enemies and *Bacillus thuringiensis* to manage insect pests of *Brassica crops* in North Korea. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 125(1-4), 223–238. doi: 10.1016/j.agee.2008.01.003
- Gómez-Campo, C. (1999). Biology of Brassica Coenospecies. Recuperado de <https://www.elsevier.com/books/biology-of-brassica-coenospecies/gomez-campo/978-0-444-50278-0>.
- Hermansson J. (2016). Biology of the Diamondback moth (*Plutella xylostella*) and its future impact in Swedish oilseed rape production. Recuperado de <https://stud.epsilon.slu.se/9645/>
- Hill, T.A., y 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, 763-768.

- Jafary-Jahed, M., Razmjou, J., Nouri-Ganbalani, G., Naseri, B., Hassanpour, M., y Leppla N. C. (2018). Life Table Parameters and Oviposition Preference of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on Six Brassicaceous Crop Plants. *Journal of Economic Entomology*, 112(2), 932-938. doi: 10.1093/jee/toy384.
- Jaramillo, J. E., y Díaz, C. A. (2006). El cultivo de las crucíferas: brócoli, coliflor, repollo, col china. Medellín, Colombia: Litomadrid.
- Jaramillo, J., y Leyva, E. (2002). El cultivo de las crucíferas (repollo, brócoli y coliflor). En J. Jaramillo (presidencia), Enseñamos a quienes vamos a enseñar. Ponencia llevada a cabo en el II Taller de Hortalizas, Productividad-Mercadeo. Medellín, Colombia.
- Jiang, T., Wu, S., Yang, T., Zhu, C., y Gao, C. (2015). Monitoring field populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) for resistance to eight insecticides in China. *Florida Entomologist*, 98(1), 65-73. doi: 10.1653/024.098.0112
- Li, A., Yang, Y., Wu, S., Li, C., y Wu, Y. (2006). Investigation of resistance mechanisms to fipronil in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.*, 99(3), 914–919. doi:10.1603/0022-0493-99.3.914.
- Liu X., Chen M., Collins, H. L., Onstad, D., Roush, R., Zhang, Q., y 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. doi: 10.1603/ec11299.
- López-Chillón M.T., Baenas, N., Villaño, D., Zafrilla P., García-Viguera, C., y Moreno, D.A. (2017). Brócoli for food and health research and challenge. En E. Cartea (Presidencia), Brassica. Simposio llevado a cabo en el VII International Symposium on Brassicas, Pontevedra, España.
- Maldonado-Montalvo, J., Ramírez-Juárez, J., Méndez-Espinoza, J. A., y Pérez-Ramírez, N. (2017). El sistema de producción del brócoli desde la perspectiva del campo social de Pierre Bourdieu. *Scielo*, 27(50), 4-23. doi:10.24836/es.v27i5.487.
- Martínez-Ballesta, M.C., López-Pérez, L., Pérez-Balibrea, S., Moreno, D. A., García-Viguera, C., Carvajal, M. (2008). “Cultivo del brócoli con aguas salinas. ¿Es posible algún beneficio?. *Agrícola Vergel*, 315, 132-137.
- Martínez-Castillo, M., Leyva, J.L., Cibrián-Tovar, J., y Bujanos-Muñiz, R. (2002). Parasitoid diversity and impact on populations of the diamondback moth *Plutella xylostella* (L.) on Brassica crops in central México. *BioControl*, 47, 23–31. doi:10.1023/A:1014423106261.

- Martínez-Jaime, O. A., Salas-Araiza, M. D., Díaz-García, J. A., Sanzón-Gómez, D., y Guzmán-Mendoza R. (2017). Relación de *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) con la temperatura y su parasitoide *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) en el bajo guanajuatense. *Entomología mexicana*, 4, 300–305.
- Munir, S., Dosdall, L., M. O'Donovan, J. T., y Keddle, A. (2016). *Diadegma insulare* development is altered by *Plutella xylostella* reared on water-stressed host plants. *Journal of Applied Entomology*, 140(5), 364–375. doi: 10.1111/jen.12257.
- Philips, C. R., Fu, Z., Kuhar, T. P., Shelton, A. M., y Cordero, R. J. (2014). Natural history, ecology, and management of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae), with emphasis on the United States. *Journal of Integrated Pest Management*, 5(3), 1-11. doi: 10.1603/IPM14012.
- Pu, X., Yang, Y., Wu, S., y Wu, Y. (2010). Characterization of abamectin resistance in a field-evolved multi-resistant population of *Plutella xylostella*. *Pest management science*, 66(4), 371–378. doi:10.1002/ps.1885.
- Qin, C., Wang, C.H., Wang, Y.Y., Sun, S.Q., Wang, H.H., y Xue, C.B. (2018). Resistance to Diamide Insecticides in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): Comparison Between Lab-Selected Strains and Field-Collected Populations. *Journal of Economic Entomology*, 111(2), 853-859. doi:10.1093/jee/toy043.
- Ramírez-Bustos, I., Martínez, L. V., Juárez- López, P., Guillén-Sánchez, D., Alia-Tejacal, I., Rivera-León, I., Saldarriaga-Noreña H., y Jiménez-García, D. (2018). Identificación de envases vacíos de plaguicidas en plantaciones de nopal verdura, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae), en Morelos, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 4(1), 18–25. doi: 10.30973/aap/2018.4.1/3.
- Rodríguez-del-Bosque, L.A., y Arredondo-Bernal, H.C. (2007). Teoría y Aplicación del Control Biológico. México, D.F: SENASICA.
- Ronald, F.L. (1992). *Plutella xylostella*. Crop Knowledge Master. Recuperado de <http://www.extento.hawaii.edu/kbase/crop/Type/plutella.htm#HOSTS>.
- Sarfraz, M., Dosdall, L.M., y Keddle, B.A. (2005). Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.): a review. *Biocontr. Sci. Tech*, 15(8), 763–789. doi:10.1080/09583150500136956
- Sarfraz, M., Dosdall, L.M., y Keddle, B.A. (2009). Fitness of the parasitoid *Diadegma insulare* is affected by its host's food plants. *Basic and Applied Ecology*, 10(6), 563–572. doi: 10.1016/j.baae.2009.01.006.
- Sayani, Z., Mikani, A., y Mosallanejad, H. (2019). Biochemical Resistance Mechanisms to Fenvalerate in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 112(3), 1372–1377. doi: 10.1093/jeet/toz025.

- Schulz, O.E. (1936). *Cruciferce*. Berlin: Die natürlichen
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). (2014). *Manual de pruebas de control de calidad de moscas del mediterráneo estéril del CEMM*. Recuperado de <http://publico.senasica.gob.mx/?doc=24292>
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2019). Avance de Siembras y Cosechas Resumen por Estado. Recuperado de http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do.
- Stanley, J., y Preetha, G. (2016). *Pesticide Toxicity to Non-target Organisms: Exposure, Toxicity and Risk Assessment Methodologies*. doi:10.1007/978-94-017-7752-0.
- Tovar, H. H., Bautista, M.N., Vera, G.J., Suárez, V. A., Ramírez, A.S. (2007). Fluctuación poblacional y parasitismo de larvas de *Copitarsia decolora* Guenée, *Plutella xylostella* L. y *Trichoplusia ni* Hübner (Lepidoptera) en Brassica oleracea L. *Acta zoológica mexicana*, 23(2), 183-196.
- Tridge (Global trading platform). (2019). Broccoli. Recuperado de <https://www.tridge.com/products/broccoli>
- Vera-Sánchez, K.S., Cadena-Iñiguez, J., Latournerie-Moreno, L., Santiaguillo-Hernández, J.F., Rodríguez-Contreras, A., Basurto-Pena, F.A., Castro-Lara, D., Rodríguez-Guzmán, E., López- López, P., y Ríos-Santos, E. (2016). Conservación y utilización sostenible de las Hortalizas Nativas de México. *Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas*. Recuperado de <https://www.gob.mx/>.
- Webb, E., Niño, A., y Smith, A.H. (2016). Manejo de Insectos en Crucíferas (Cultivos de Coles) (Brócoli, Repollo, Coliflor, Col, Col Rizada, Mostaza, Rábano, Nabos). *Institute of Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS)*. Recuperado de <https://edis.ifas.ufl.edu/>.
- Wyss, J.H. (2000). Screwworm eradication in the Americas. *Ann N Y Acad Sci*, 916, 186-193. doi: 10.1111/j.1749-6632.2000.tb05289.x
- Xu, J., Shelton, A.M., y Cheng, X. (2001a). 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. doi: 10.1603/0022-0493-94.1.14.
- Xu, J., Shelton, A.M., y Cheng, X., (2001b). Variation in susceptibility of *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) to permethrin. *Journal of Economic Entomology*, 94(2), 541–546. doi: 10.1603/0022-0493-94.2.541.

- Xu, Y.Y., Liu, T.X., Leibee, G.L., y 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. doi:10.1080/09583150410001682395.
- Zhao, J.Z., Li, Y.X., Collins, H.L., Gusukuma-Minuto, L., Mau, R.F., Thompson, G.D., y Shelto, A.M. (2002). Monitoring and characterization of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to spinosad. *Journal of Economic Entomology*, 95(2), 430-436. doi: 10.1603/0022-0493-95.2.430.

3. ARTÍCULO CIENTÍFICO

³EFFECTOS LETALES DE INSECTICIDAS SOBRE *DIADEGMA INSULARE* (HYMENOPTERA: ICHNEUMONIDAE)

PRESENTADO EN EL XLII CONGRESO NACIONAL DE CONTROL
BIOLÓGICO EN BOCA DEL RÍO, VERACRUZ, 7-8 NOV 2019.

RESUMEN

Diadegma insulare es un endoparasitoide solitario de larvas de *Plutella xylostella*, y se considera el enemigo natural más común e importante con un alto potencial para el control biológico de esta plaga de las crucíferas, particularmente brócoli y coliflor, en México y el mundo. El objetivo de este trabajo fue medir los efectos letales de los insecticidas autorizados en brócoli sobre el parasitoide *D. insulare*. Para ello se utilizó una torre de Potter para aplicación directa a los parasitoides en dosis medias recomendadas por el fabricante más 1mL/L de adherente INEX-A®, los ingredientes activos a evaluar fueron: Benzoato de emamectina, spinosad, spinoteram, spirotetramat, imidacloprid, indoxacarb, flonicamid, naled, piridilil el adherente inex más agua destilada y un testigo absoluto. A las 24h; spirotetramat, piridilil e inex ocasionaron 26,18 y 10%, a las 48h; 64,38 y 27% y a las 72h; 64,48 y 27%; de mortalidad, todos los demás ocasionaron el 100% de mortalidad antes de las 24h, el testigo absoluto nunca excedió el 10% de mortalidad. Esto de acuerdo a la organización internacional de control biológico (IOBC), spirotetramat y piridilil resultaron ser ligeramente nocivos (64, 48% de mortalidad, categoría 2), el adherente inex más agua destilada fue inofensivo (27% de mortalidad, categoría 1) mientras que (Benzoato de emamectina, spinosad, spinoteram, imidacloprid, indoxacarb, flonicamid, naled) fueron altamente nocivos (100% de mortalidad, categoría 4) sobre *D. insulare*. En esta investigación se analiza la importancia de las evaluaciones de insecticidas con enemigos naturales, ya que es la primera vía de contacto que tienen con los plaguicidas.

Palabras clave: Palomilla dorso de diamante, control biológico, parasitoides, plaguicidas.

³Tesis de Maestría en Ciencias, Posgrado en Protección Vegetal, Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Biol. Daniel Ramírez Cerón.

Director de tesis: Dr. Samuel Ramírez Alarcón.

⁴LETHAL EFFECTS OF INSECTICIDES ON *Diadegma insulare* (HYMENOPTERA: ICHNEUMONIDAE)

ABSTRACT

Diadegma insulare is a solitary endoparasitoid of *Plutella xylostella* larvae, and is considered the most common and important natural enemy with high potential for biological control of this cruciferous pest, particularly broccoli and cauliflower, in Mexico and the world. The objective of this work was to measure the lethal effects of the authorized broccoli insecticides on the parasitoid *D. insulare*. For this, a Potter tower was used for direct application to the parasitoids in medium doses recommended by the manufacturer plus 1mL / L of INEX-A® adherent, the active ingredients to be evaluated were: Emamectin benzoate, spinosad, spinoteram, spirotetramat, imidacloprid, indoxacarb, flonicamid, naled, pyridalil the adherent no more distilled water and an absolute control. After 24h; spirotetramat, piridalil and inex caused 27.18 and 10%, after 48h; 64.38 and 27% and after 72h; 64.48 and 27%; of mortality, all the others caused 100% mortality before 24h, the absolute control never exceeded 10% mortality. This according to the international biological control organization (IOBC), spirotetramat and pyridalil were found to be slightly harmful (64, 48% mortality, category 2), the adherent with no more distilled water was harmless (27% mortality, category 1) while (Emamectin benzoate, spinosad, spinoteram, imidacloprid, indoxacarb, flonicamid, naled) they were highly harmful (100% mortality, category 4) on *D. insulare*. This research analyzes the importance of evaluations of insecticides with natural enemies, since it is the first route of contact they have with pesticides.

Keywords: diamondback moth, biological control, parasitoids, pesticides.

⁴Master of Science Thesis, Postgraduate in Plant Protection, Department of Agricultural Parasitology, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Biol. Daniel Ramírez Cerón.
Thesis Director: Dr. Samuel Ramírez Alarcón.

3.1. INTRODUCCIÓN

En México se siembran alrededor de 50,000 ha de crucíferas cada año, y 70% de éstas corresponden a brócoli, *Brassica oleracea* Plenck, 1794 (Brassicales). Esta hortaliza tiene un alto valor socioeconómico ya que la mayor parte se destina al mercado de exportación, además demanda gran cantidad de mano de obra directa e indirecta, y tiene agroindustrias asociadas (Bujanós et al., 2013; SIAP, 2019).

El brócoli tiene diferentes plagas, pero la palomilla dorso de diamante, *Plutella xylostella* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera: Plutellidae), es una de las más importantes de crucíferas en México y el mundo. Es problema porque causa daño directo e indirecto, poblaciones elevadas de la plaga pueden afectar el rendimiento y la calidad comercial del producto. El daño indirecto lo ocasiona la sola presencia de una larva en el producto comercial (pella o cabeza). Adicionalmente, es una especie que, por la presión de selección, y su capacidad biológica, ha adquirido resistencia a una lista larga de productos insecticidas (Shelton y Rueda, 1996; Sarfraz et al., 2005).

Debido a las exigencias de los mercados internacionales que prefieren una alta calidad cosmética del brócoli, no se tolera ni una larva en el producto comercial y si se encuentra una el castigo es la disminución severa en el precio, y hasta el rechazo del producto. Esto ha ocasionado que los productores usen a los insecticidas como una de las herramientas principales para reducir las poblaciones a niveles excesivamente bajos de *P. xylostella* en campo (0.2 a 0.01 larvas por planta en cosecha) (Williams et al., 2003)

En búsqueda de nuevas alternativas de control, una de las tácticas de combate en el manejo integrado de plagas puede ser la liberación de *Diadegma insulare* (Cresson), 1865 (Hymenoptera: Ichneumonidae), endoparasitoide solitario de larvas que se considera el enemigo natural más importante de *P. xylostella* (L.) (Johanowicz y Mitchell, 2000; Lui et al., 2012). Este tipo de control podría ser

particularmente importante los primeros 45-50 días después de la plantación donde la tolerancia de larvas de *P. xylostella* es de 0.5 a 0.2 larvas por planta (Bujanos et al., 2013), y donde el parasitismo podría contribuir a mantener a la plaga en cierto nivel y disminuir el uso de plaguicidas (Xu et al. 2001a; Sourakov y Mitchell 2017). Es muy probable que el uso irracional de insecticidas para el combate de *P. xylostella* esté afectando considerablemente las poblaciones de enemigos naturales que pueden tener un efecto favorable para su control (Xu et al. 2001; Wu et al. 2004; Xu et al., 2004). Por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar los efectos letales de los insecticidas autorizados en brócoli sobre el parasitoide *D. insulare*.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Material biológico

Los parasitoides adultos de *D. insulare* fueron proporcionados por la empresa La Huerta (rancho medio kilo, S.P.R. de R.L), localizada en Aguascalientes, México. Los insectos se mantuvieron en jaulas de plástico (3.8 L) con orificios cubiertos con tela organza para favorecer la ventilación, y dentro de una cámara de cría a 22 ± 1 °C, $60 \pm 5\%$ HR. Como fuente de alimento se utilizó jarabe de maíz (Karo®) y agua en una proporción 3:1; los insectos se mantuvieron en oscuridad para prevenir daños mecánicos, se hizo así porque son extremadamente activos en presencia de luz y podían causarse daño mecánico al golpearse constantemente dentro de las jaulas.

Para los bioensayos de laboratorio se utilizaron adultos entre 1 y 2 d de edad. Así mismo, se utilizaron plantas de brócoli (*Brassica oleracea* var *italica*) variedad Sakata®, las cuales se mantuvieron en condiciones de invernadero en macetas de plástico (20 cm de diámetro x 20 cm de altura) con sustrato de arena de tezontle y peat moss (Growing Mix®), en una proporción de 2:1 (V: V). Para la fertilización se empleó una solución nutritiva completa (Ultrasol® 1g/L) que se aplicó mediante un sistema de riego por goteo automatizado.

4.2. Insecticidas

Se evaluaron 9 formulaciones comerciales de insecticidas (Cuadro 1). Se incluyeron sustancias de diferentes grupos toxicológicos, con excepción de Spinosad y Spinoteram que pertenecen a un mismo grupo toxicológico. Todos los productos están recomendados para *P. xylostella* y otras plagas del cultivo de brasicáceas en México. De cada insecticida se utilizó la dosis media recomendada por el fabricante más 1mL/L de adherente INEX-A® (Cosmocel®, S.A.). En los controles se utilizó sólo agua destilada más adherente y un control absoluto utilizando solo agua destilada, para preparar las soluciones se tomó como base el volumen de agua recomendado para cada producto (Cuadro 1).

Cuadro 1. Insecticidas y concentración usadas en pruebas de toxicidad aguda en adultos de *Diadegma insulare*.

Ingrediente activo	Nombre comercial	Grupo químico	Compañía	¹ Dosis
Benzoato de Emamectina	PROCLAIM® 05 SG	Avermectina	Syngenta México S.A de C. V	300-400 g/ha
Spinosad	SPINTOR 12 SC.	Spinosines	Dow AgroSciences de México, S.A de C.V.	100 ml/ha
Spinoteram	PALGUS.	Spinosines	Dow AgroSciences de México, S.A de C.V.	250-300 ml/ha
Spirotetramat	MOVENTO 150 OD	Ácido tetronico	Bayer de México S.A de C. V.	0.3-0.4 L/ha
Imidacloprid	CONFIDOR 350 SC	Neonicotinoides	Bayer de México S.A de C. V.	0.15-0.30 L/ha
Indoxacarb	AVAUNT 150 EC	Oxadiacinas	DuPont México S.A. de C.V.	300-500 ml/ha
Flonicamid	BELEAF	Piridinocarboxiamidas	FMC Agroquímica de México, S. de R. L. de C. V.	100-250 g/ha
Naled	DIBROM 8.	Organofosforado	AMVAC México, S. de R.L. de C. V	0.750-1.25 L/ha
Piridallil	PLEO 50 EC.	Derivado del Dihalopreno	Valent de México S.A de C.V.	0.20-0.35 L/ha

¹Dosis medias recomendadas por el fabricante.

4.3 Bioensayos

4.3.1. Efecto letal por aplicación directa

Para evaluar los efectos letales de *D. insulare* se utilizó la metodología propuesta por Morales et al., (2015), con algunas modificaciones. Antes de realizar la aspersión se calibró la torre de Potter midiendo el tamaño de gota mediante papel hidrosensible y se logró estabilizar un coeficiente de homogeneidad de 3.1 con 403 impactos por cm² (AgroSmart). Grupos de 10 adultos por caja de Petri se anestesiaron con CO₂ durante 20 s para facilitar la aplicación de los tratamientos. Para ello se empleó una bolsa hermética de plástico de 1L de capacidad (Ziploc®).

Los insectos anestesiados se colocaron sobre un papel filtro dentro de una caja Petri de vidrio para exponerlos a la torre de Potter de acrílico (150x 50 x 50 cm). La torre tenía una boquilla de cono de acero inoxidable 1/4 J- SS, y estaba conectada a un compresor de aire de 40 lb (Adir®). La boquilla se mantuvo a una distancia de 120 cm de la unidad donde estaban los insectos. La aspersión de cada producto (=tratamientos) se realizó con 3 ml de la solución en cada disparo. Después de la aspersión, los parasitoides se transfirieron a una caja de Petri de plástico de 4 cm de diámetro con la tapa perforada y sellada con tela organza para ventilación.

En cada caja se colocó un isopo de algodón con agua y jarabe de maíz en proporción 3:1. Todas las unidades experimentales se mantuvieron a 25 ± 2 °C, 60 ± 10 % HR y en obscuridad. La mortalidad se evaluó a 24, 48 y 72 h posteriores a la aplicación de los tratamientos. Para este ensayo se realizaron cinco repeticiones por tratamiento incluyendo un testigo, y el experimento completo se repitió dos veces con un lote diferente de insectos, y en una fecha diferente (= en total 10 repeticiones por tratamiento). Se consideró insecto muerto a aquel individuo que presentó temblores y no tuvo la capacidad de desplazarse normalmente al ser estimulado con un pincel entomológico (comercialmente del No. 000).

4.3.2. Análisis de datos

Los datos del ensayo de efectos letales por contacto directo se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA). En caso de encontrar diferencias se realizó una comparación múltiple de medias por el método de Tukey ($\alpha=0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.4.

4.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.4.1 Efecto letal por contacto directo

La mortalidad a las 24 h tuvo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($F_{10,52} = 259.67$; $P \leq 0.0001$), Inex + agua destilada fue el tratamiento que presentó menor mortalidad (10%). El insecticida piridilil a las 24 h ocasionó 18% de mortalidad siendo diferente del testigo. Después de éste spirotetramat registró una mortalidad de 26%, el resto de los insecticidas ocasionaron mortalidad del 100%.

Después de las 48 h la mortalidad entre tratamientos fue diferente ($F_{10, 52} = 725.05$, $P \leq 0.0001$), 38% de mortalidad piridilil, spirotetramat 64%, 27% inex+ agua destilada siendo diferente del testigo. Para las 72 h se incrementó ligeramente la proporción de mortalidad con respecto a las 48 h, y también se encontraron diferencias entre tratamientos ($F_{10, 52}$; $=353.75$; $P \leq 0.0001$).

Los porcentajes de mortalidad fueron aparentemente mayores a las 72 h, y es éste el periodo que se comenta aquí. A las 72 h spirotetramat, piridilil e inex ocasionaron mortalidad de 64, 48 y 27%, respectivamente. el testigo (agua) nunca excedió el 10% de mortalidad (Figura 9). El resto de los insecticidas ocasionaron mortalidad de 100% desde las 24 h posteriores a la aplicación de los tratamientos.

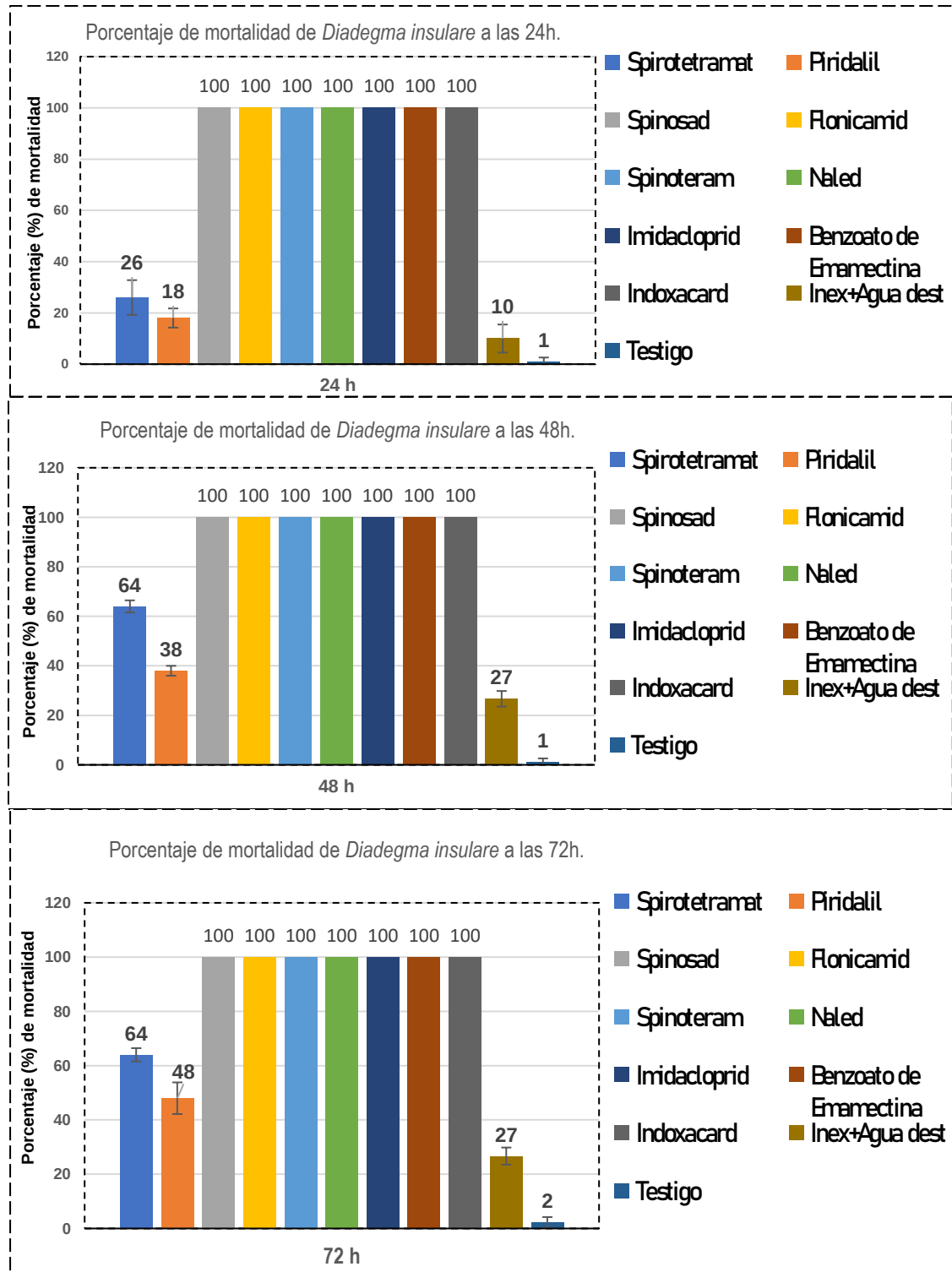


Figura 9. Porcentaje de mortalidad de *Diadegma insulare* bajo condiciones de laboratorio ($25 \pm 2^\circ\text{C}$, $60 \pm 10\%$ HR).

Para la categorización de los insecticidas para ensayos en laboratorio, dependiendo de su toxicidad, se empleó la clasificación de la Organización Internacional de Control Biológico (IOBC). Las categorías son: 1 inofensivo (<30%); 2, ligeramente nocivo (30-79%); 3, moderadamente nocivo (80-99%); 4, altamente nocivo (>99%) (Hassan 1992). De acuerdo con lo anterior, el tratamiento *inex* resultó ser inofensivo para *D. insulare*, categoría 1 según la clasificación de la IOBC. Por otro lado, los tratamientos spirotetramat y piridalil fueron ligeramente nocivos categoría 2, todos los demás tratamientos (indoxacarb, benzoato de emamectina, imidacloprid, naled, spinoteram, spinosad) fueron altamente nocivos (categoría 4) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Mortalidad de *Diadegma insulare* 24, 48 y 72 h después de la aplicación directa de insecticidas.

Tratamiento	Mortalidad acumulada (% $\pm$ EE) ¹			Categoría * IOBC
	24 h	48 h	72 h	
Indoxacarb	100 $\pm$ 0.0 a	100 $\pm$ 0.0 a	100 $\pm$ 0.0 a	4
Benzoato de emamectina	100 $\pm$ 0.0 a	100 $\pm$ 0.0 a	100 $\pm$ 0.0 a	4
Imidacloprid	100 $\pm$ 0.0 a	100 $\pm$ 0.0 a	100 $\pm$ 0.0 a	4
Naled	100 $\pm$ 0.0 a	100 $\pm$ 0.0 a	100 $\pm$ 0.0 a	4
Spinoteram	100 $\pm$ 0.0 a	100 $\pm$ 0.0 a	100 $\pm$ 0.0 a	4
Spinosad	100 $\pm$ 0.0 a	100 $\pm$ 0.0 a	100 $\pm$ 0.0 a	4
Flonicamid	100 $\pm$ 0.0 a	100 $\pm$ 0.0 a	100 $\pm$ 0.0 a	4
Spirotetramat	26.0 $\pm$ 0.6 b	64.0 $\pm$ 0.2b	64.0 $\pm$ 0.2b	2
Piridalil	18.0 $\pm$ 0.3 bc	38.0 $\pm$ 0.2c	48.0 $\pm$ 0.5c	2
Inex	10.0 $\pm$ 0.0 cd	27 $\pm$ 0.2d	27.0 $\pm$ 0.2d	1
Testigo	1.11 $\pm$ 0.0 d	1.11 $\pm$ 0.0e	2.2 $\pm$ 0.0e	1

¹ Medias con la misma letra en una columna no difieren estadísticamente entre sí ($p \leq 0.05$).

* Categorización (IOBC) para bioensayos en laboratorio.

4.5. DISCUSIÓN

La mayor parte de los insecticidas autorizados para su uso en brócoli resultaron tóxicos para el parasitoide *D. insulare* por aplicación directa. La mortalidad fue del 100% sólo 24 h después de la aplicación. Sólo dos insecticidas (spirotetramat y piridalil) se categorizaron como ligeramente nocivos con 48 y 64% de mortalidad a 72 h después de la aplicación. También es importante hacer notar que fue necesario esperar 48 o 72 h para que los productos alcanzaran su máxima mortalidad. Adicionalmente, que, debido a la baja tolerancia de los parasitoides a las sustancias químicas, el adherente también resultó tóxico hasta en un 27%. Esta información era predecible, pues diversos trabajos han demostrado que varios de los insecticidas autorizados en brócoli son altamente tóxicos contra lepidópteros e himenópteros, entre otros insectos (Cleveland et al., 2001; Hill y Foster, 2003; Williams et al., 2003; Bostanian y Akalach, 2004; Cordero et al., 2007). Aun así, dos de los productos insecticidas que se usan en brócoli produjeron una mortalidad menor por aplicación directa (48 y 64%) lo cual se ha reportado en otros parasitoides himenópteros y depredadores (Sakamoto et al., 2004; Isayama et al., 2005; Francesena et al., 2012; Mani, 2018). Esa información tiene relevancia al menos desde dos puntos de vista. El primero es dar los elementos para usar con mayor precaución los insecticidas que son altamente tóxicos para el parasitoide, y el segundo se relaciona con realizar más investigación, misma que podría dirigirse a cómo manejar los productos que representan menor riesgo para *D. insulare*.

Por la exigencia de los mercados internacionales, donde no se tolera ninguna larva de *P. xylostella* en el producto comercial, no hay manera de producir el brócoli sin usar los insecticidas como las herramientas de manejo para mantener bajas las poblaciones de la plaga en brócoli. Entonces, la exposición directa de *D. insulare* a los insecticidas debe ser la primera consideración para evidenciar los riesgos, pero ahora será conveniente también determinar cuánto tiempo pueden ser residuales en el follaje en campo.

4.6. CONCLUSIÓN

Luego de los ensayos por la vía de exposición directa los únicos productos que no causaron el 100% de mortalidad fueron spirotetramat, piridilil y el adherente inex, 64, 48 y 27%, respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca completa para estudiar la maestría en ciencias. Al rancho Medio Kilo de la empresa “La Huerta”, ubicada en Aguascalientes, por la disposición para proporcionar los parasitoides y por la logística para obtenerlos en las cantidades y momentos adecuados.

4.7. LITERATURA CITADA.

- Bujanos, M.R., Marín, J. A., Díaz, L. E., F. L., Gámez, V. A., Ávila, P. M., Herrera, V. R., Augusto, D.G.J., y Gámez, V. F. (2013). Manejo integrado de la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* (L.) en la región del Bajío, México. Celaya, Gto. México. *Folleto Técnico*, 27, 1-44.
- Francesena, N., Haramboure, M., Smaghe, G., Stadler T., y Schneider, M.I. (2012). Preliminary studies of effectiveness and selectivity of movento® on *Bemisia tabaci* and its parasitoid *Eretmocerus mundus*. *Communications in agricultural and applied biological sciences*, 77(4), 727-733.
- Hill, A.T., y Foster, R. (2003). Influence of selected insecticides on the population dynamics of Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae) and Its parasitoid, *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae), in cabbage. *Journal of Entomological Science*, 38(1), 59-71. doi: 10.18474/0749-8004-38.1.59
- Isayama, S., Saito, S., Kuroda, K., Umeda, K., y Kasamatsu, K. (2005). Pyridalyl, a novel insecticide: Potency and insecticidal selectivity. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 58(4), 226–233. doi:10.1002/arch.20045
- Johanowicz, L., y Mitchell, R.E. (2000) Novel method to rear *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae), a parasitoid of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *The Florida Entomologist*, 83(3), 377-379. doi: 10.2307/3496363.

- Liu X., Chen M., Collins, H. L., Onstad, D., Roush, R., Zhang, Q., y 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. doi: 10.1603/ec11299.
- Mani, M. (2018). Hundred and sixty years of Australian lady bird beetle *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant-a global view. *Biocontrol Science and Technology*, 28(10), 938-952. doi:10.1080/09583157.2018.1487029
- Morales F., Lagunes A., Negrete A., Rodríguez C. y Silva A.G. 2015. Comparación de cuatro métodos de bioensayo en la determinación de la toxicidad de insecticidas en *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Entomotropica* 30(24), 227-235.
- Sakamoto, N., Saito, S., Hirose, T., Suzuki, M., Matsuo, S., Izumi, K., Nagatomi, T., Ikegami, H., Umeda, K., Tsushima, K., y Matsuo, N. (2004). The discovery of pyridalyl: a novel insecticidal agent for controlling lepidopterous pests. *Pest management science*, 60(1), 25–34. doi: 10.1002/ps.788.
- Sarfraz, M., Dosdall, L.M., y Keddie, B.A. (2005). Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.): a review. *Biocontrol Science and Technology*, 15(8), 763–789. doi:10.1080/09583150500136956
- Shelton, A. M., y Rueda, A. (1996). Diamondback Moth. Global Crop Pests. Recuperado de <http://web.entomology.cornell.edu/shelton/veg-insects-global/index.html>
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2019). Avance de Siembras y Cosechas Resumen por Estado. Recuperado de http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do.
- Sourakov A., y Mitchell E. (2017). A Wasp Parasitoid, *Diadegma insulare* (Cresson) (Insecta: Hymenoptera: Ichneumonidae). Institute of Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS). Recuperado de <https://edis.ifas.ufl.edu/in281>
- Williams, T., Valle, J., Viñuela, E. (2003). Is the naturally derived insecticide spinosad® compatible with insect natural enemies. *Biocontrol Science and Technology*, 13(5), 459–475. doi:10.1080/0958315031000140956.
- Wu, G., Jiang, S., y Miyata, T. (2004). Seasonal Changes of Methamidophos Susceptibility and Biochemical Properties in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) and Its Parasitoid *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Economic Entomology*, 97(5), 1689-1698.

- Xu, J., Shelton, A.M., y Cheng, X. (2001a). 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. doi: 10.1603/0022-0493-94.1.14.
- Xu, Y.Y., Liu, T.X., Leibee, G.L., y 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. doi:10.1080/09583150410001682395.

5.TOXICIDAD RESIDUAL Y EFECTOS SUBLETALES

5.1. MATERIALES Y MÉTODOS

Para este ensayo se siguió la metodología propuesta por Luna-Cruz et al. (2015) con algunas modificaciones. Este experimento se realizó sobre plantas de plantas de brócoli de 1.5 meses de edad, las plantas se desarrollaron en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Se probaron siete insecticidas (Cuadro 3) más un testigo (agua destilada más adherente INEX-A® 1 ml L⁻¹); todos los tratamientos se aplicaron el mismo día entre 8:00 y 11:00 h. La aplicación de cada tratamiento se realizó a punto de goteo y se dirigió también al envés de las hojas. Se asperjaron 10 plantas por tratamiento. Para la aspersión de los insecticidas se utilizó una mochila manual Swissmex®, equipada con una boquilla de abanico plano de la serie TeeJet 8002VS. Previo a la aplicación, se calibró el equipo de aspersión. Las plantas del control se trataron con adherente (Inex®) y agua corriente. Cada una de las plantas tratadas se etiquetó para su identificación.

Cuadro 3. Insecticidas y concentraciones evaluadas en exposición residual en adultos de *Diadegma insulare*.

Ingrediente activo	Nombre comercial	Grupo químico	Compañía	¹ Dosis
Spinosad	SPINTOR 12 SC.	Spinosines	Dow AgroSciences de México, S.A de C.V.	100ml/ha
Spirotetramat	MOVENTO 150 OD	Ácido tetrónico	Bayer de México S.A de C. V.	0.3-0.4 L/ha
Imidacloprid	CONFIDOR 350 SC	Neonicotinoides	Bayer de México S.A de C. V.	0.15-0.30 L/ha
Indoxacarb	AVAUNT 150 EC	Oxadiazinas	DuPont México S.A. de C.V.	300-500 ml/ha
Flonicamid	BELEAF	Piridinocarboxiamidas	FMC Agroquímica de México, S. de R. L. de C. V.	100-250 g/ha
Naled	DIBROM 8.	Organofosforado	AMVAC México, S. de R.L. de C. V	0.750-1.25 L/ha
Piridialil	PLEO 50 EC.	Derivado del Dihalopreno	Valent de México S.A de C.V	0.20-0.35 L/ha

¹Dosis medias recomendadas por el fabricante.

5.2. Bioensayos

5.2.1. Toxicidad residual en semi-campo

La primera evaluación de residualidad se realizó a las 24 h, y luego cada 72 h después de la pulverización. Para ello se retiraban hojas seleccionadas al azar dentro de cada tratamiento. Las hojas se transportaban al laboratorio para cortar discos foliares de 60 mm de diámetro, los discos se colocaban sobre una capa de agar-agua de 2 mm (2,5% p / v) dentro de cajas Petri de 60 mm de diámetro por 50 mm de altura. Esas cajas Petri tenían cuatro orificios laterales, tres estaban sellados con tela organza para favorecer la ventilación y uno se usó para introducir los parasitoides. Para completar cada unidad experimental, en las cajas Petri se introdujeron 10 parasitoides adultos de *D. insulare* de 24 h de edad. Todas las unidades experimentales se mantuvieron a 23 ± 2 °C, 60 ± 10 % HR en total obscuridad; en cada caja Petri se colocó una torunda de algodón saturada en agua-fructosa 3:1. La mortalidad se registró a las 24, 48 y 72 h posteriores al inicio de cada bioensayo.

Para la evaluación de residualidad se realizaron cinco réplicas por tratamiento, y en todos los casos se incluyó un testigo (agua destilada más adherente INEX-A® 1 mL L⁻¹). Se consideró muerto a aquel individuo que presentó temblores y no tuvo la capacidad de desplazarse al ser estimulado con un pincel (No. 000). La evaluación de residualidad se realizó hasta que las mortalidades del parasitoide fueron menores al 25%. La evaluación se detuvo en ese momento porque de acuerdo con la Organización Internacional de Control Biológico (IOBC), ese porcentaje indicaba que el producto dejaba de ser tóxico para experimentos de campo, semi-campo e invernadero (Hassan et al., 1994).

Para la clasificación de los productos se usaron las categorías de toxicidad de la IOBC: 1) inofensivas (Categoría 1, <25% de mortalidad); 2) levemente dañino (Categoría 2, 25–50% de mortalidad); 3) moderadamente dañino (Categoría 3, 50-75% de mortalidad); y 4) dañino (Categoría 4, > 75% de mortalidad). También las categorías de persistencia como: 1) de corta duración (Categoría 1, no persistente, inofensivos en <5 días); 2) ligeramente persistente (Categoría 2,

inofensivo entre 5-15 d); 3) moderadamente persistente (Categoría 3, inofensivos entre 16-30 d); y 4) persistente (Categoría 4, inofensivos después de 30 d). Inofensivo se refiere a menos del 30% de mortalidad en condiciones de laboratorio, y 25% de mortalidad en condiciones de semi-campo, campo e invernadero (Hassan et al., 1994)

5.3. Efectos subletales

De los productos que no causaron el 100% de mortalidad en la prueba de toxicidad aguda (sección 4.3.1) se seleccionaron dos productos para medir efectos subletales sobre *D. insulare*. Los productos fueron spirotetramat y piridalil, estos productos se probaron en las mismas dosis indicadas en la sección (4.2) y se midió su efecto sobre la longevidad y fertilidad del parasitoide.

5.3.1. Longevidad en adultos de *Diadegma insulare*

Para evaluar este parámetro, luego de la aplicación de los productos se mantuvieron en una cámara bioclimática bajo las condiciones descritas anteriormente (4.3.1) la longevidad se determinó cuantificando el número de sobrevivientes cada día hasta que murió el último insecto, se consideró muerto aquel individuo que no mostro movimiento al ser estimulado con un pincel (No. 000). Para este ensayo se realizaron 14 repeticiones por tratamiento incluyendo un testigo (agua destilada más adherente INEX-A[®] 1 mL L⁻¹); y un testigo absoluto (solo agua destilada).

5.3.2. Número de huevos de *Diadegma insulare*

Luego de la aplicación de los insecticidas, los parasitoides se llevaron a una cámara bioclimática bajo las condiciones descritas en la sección (4.3.1). Cinco días después (que es cuando tienen el máximo potencial reproductivo; datos no publicados), se retiraron las hembras sobrevivientes, y se colocaron en tubos Eppendorf de 2 mL individuales y se conservaron a -80°C en un ultracongelador (Thermo Fisher Scientific, Modelo 703) hasta su disección, previamente se determinó que esta metodología (el proceso de congelación) permitía que el material se mantuviera sin cambios en las ovarias y huevos (Gonzaga-Segura, 2017).

Para determinar el número de huevos se colocaban hembras de manera individual, procedentes del ultracongelador, en un portaobjetos de vidrio con agua corriente más jabón, esto para romper la tensión superficial y mejorar la manipulación con la hembra inmersa en el líquido. Posteriormente, bajo un microscopio estereoscópico (10x) y con unas pinzas entomológicas, se les separó el abdomen y enseguida se retiraron los escleritos dorsales y ventrales. Después se removieron las ovariolas algunas ovariolas se extendieron para mejorar la visibilidad de los huevos, y se fotografiaron con un Fotomicroscopio III de Carl Zeiss, adaptado con una cámara digital PAXcam 3. Estas fotografías se usaron para observar las (ovariolas), y contar los huevos de cada hembra. Para este ensayo se realizaron 5 repeticiones por tratamiento incluyendo un testigo (solo agua destilada).

5.3.3 Análisis de datos

Los datos del ensayo de residualidad se analizaron mediante una regresión logística, utilizando el Software estadístico R versión 4.0.0. mediante la fórmula de Regresión Logística $y = \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 x)}}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 x)}}$ y el paquete estadístico GenStat v. 8.0 (Payne et al. 2005). Se realizó una comparación entre tratamientos seguida de una comparación a través del tiempo. Para la longevidad se realizó una regresión logística utilizando el Software estadístico R versión 4.0.0, utilizando la misma fórmula.

El número de huevos se sometió a un análisis de varianza (ANOVA) usando la transformación raíz cuadrada, y cuando existieron diferencias entre tratamientos se realizaron pruebas de separación de medias por la prueba de diferencia mínima significativa (LSD por sus siglas en inglés) ($P \leq 0.05$).

5.4. RESULTADOS

5.4.1. Residualidad de insecticidas en plantas de brócoli

Se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos (Wald $St_{6,21.3}=169.96$, $P < 0.001$) y a través del tiempo (Wald $St_{8,121.1}=917.35$, $P < 0.001$). Indoxacarb, imidacloprid, piridalil, spinosad, spirotetramat y naled

resultaron ser los más tóxicos (categoría 4) luego de dos días después de la aplicación (DDA), a diferencia de flonicamid que fue moderadamente tóxico (categoría 3) 2 DDA. La mayor mortalidad se registró 48 h después de la aplicación en todos los tratamientos, pero hubo una variación entre 75% (flonicamid) y 98.4% (indoxacarb) (cuadro 4). La toxicidad comenzó a disminuir gradualmente, indoxacarb, imidacloprid y spinosad fueron los más tóxicos y también persistieron por más tiempo que los otros insecticidas.

De los siete insecticidas evaluados, siguiendo las categorías de la IOBC, cuatro (piridialil, spirotetramat, naled y flonicamid) mostraron toxicidades residuales similares con una duración de 17 días sobre plantas de brócoli, mientras que tres de ellos (imidacloprid, indoxacarb y spinosad) tuvieron un efecto residual más prolongado durando 26, 23 y 20 días respectivamente (Figura 10). De manera general y resumida, después de 16 o 30 DDA, dependiendo del insecticida, todos lograron categorizarse como moderadamente persistentes (categoría 3) (Figura 10).

Cuadro 4. Toxicidad y persistencia de insecticidas sobre *Diadegma insulare* usando la clasificación de la IOBC.

Insecticidas	Regresión logística	Categoría 4		Categoría 3		Categoría 2		Categoría 1		Persistencia Categoría
		¹ DDA	Mortalidad (%)	DDA	Mortalidad (%)	DDA	Mortalidad (%)	DDA	Mortalidad (%)	
Piridialil	$y = \frac{e(2.87 - 0.23x)}{1 + e(2.87 - 0.23x)}$	2	91.6	8	72.5	14	38.8	17	25.0	3
	$y = \frac{e(2.50 - 0.23x)}{1 + e(2.50 - 0.23x)}$	2	88.5	8	65.4	11	48.5	17	25.0	3
Spirotetramat	$y = \frac{e(2.72 - 0.22x)}{1 + e(2.72 - 0.22x)}$	2	90.6	8	71.7	14	39.9	20	25.0	3
	$y = \frac{e(4.65 - 0.25x)}{1 + e(4.65 - 0.25x)}$	2	98.4	14	75.0	20	39.8	26	25.0	3
Indoxacarb	$y = \frac{e(1.88 - 0.18x)}{1 + e(1.88 - 0.18x)}$	2	81.8	5	71.8	11	44.9	17	25.0	3
	$y = \frac{e(1.47 - 0.17x)}{1 + e(1.47 - 0.17x)}$	-	-	2	75.0	11	39.7	17	25.0	3
Flonicamid	$y = \frac{e(3.62 - 0.22x)}{1 + e(3.62 - 0.22x)}$	2	96.0	14	62.7	17	46.3	23	25.0	3
Imidacloprid										

Mortalidad: Inofensivo <25%, categoría 1; Levemente dañino 25-50%, categoría 2; moderadamente dañino 50-75%, categoría 3; dañino >75%, categoría 4. **Categoría según su persistencia:** De corta duración <5d, categoría 1; ligeramente persistente 5-15d, categoría 2; moderadamente persistente 16-30d, categoría 3; y persistente >30d, categoría 4.

¹DDA: Días después de la aplicación

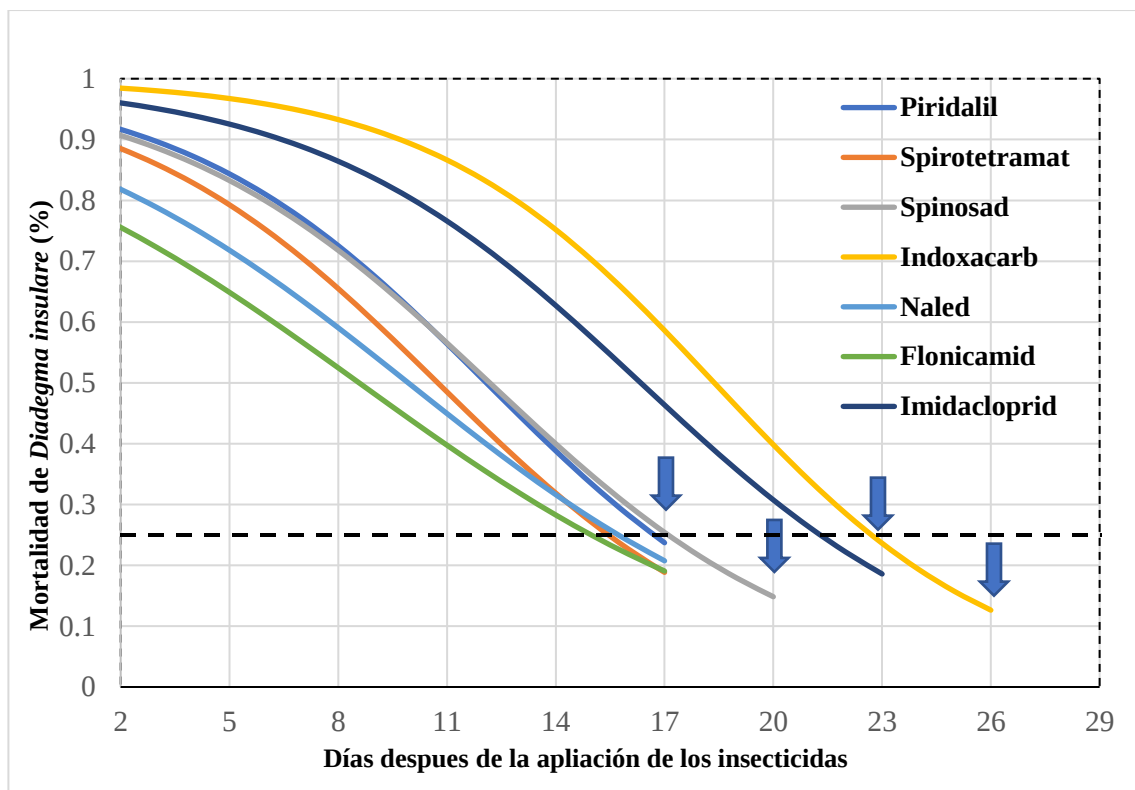


Figura 10. Mortalidad acumulada de *Diadegma insulare* en plantas de brócoli. La flecha indica mortalidad <25 %, . La línea punteada indica el porcentaje de mortalidad a la que el insecticida se considera inofensivo, Categoría 1 = inofensivo, según la IOBC. Líneas ajustadas por Regresión Logística.

5.5. Efectos subletales

5.5.1. Longevidad de adultos de *Diadegma insulare*

De acuerdo con los resultados de los ensayos de efecto letal por contacto directo, en la sección (4.3.1) donde los insecticidas spirotetramat, piridalil e inex no causaron mortalidad del 100% en *D. insulare*, se decidió realizar ensayos de efectos subletales con los productos anteriores.

Se encontraron diferencias significativas a través del tiempo (Wald St_{46} , $698=2319.74$, $P<0.001$). y entre tratamientos, ($F_{3,16}=57.65$, $P=0.0001$). Los productos spirotetramat y piridalil produjeron la misma tendencia y ocasionaron mayor mortalidad que el testigo. A los 10 días de vida del adulto el spirotetramat y el piridalil ocasionaron 74.2 y 64.2% de mortalidad el adherente Inex ocasionó 43% de mortalidad cuando en el testigo se registró 19.0% (Cuadro 5).

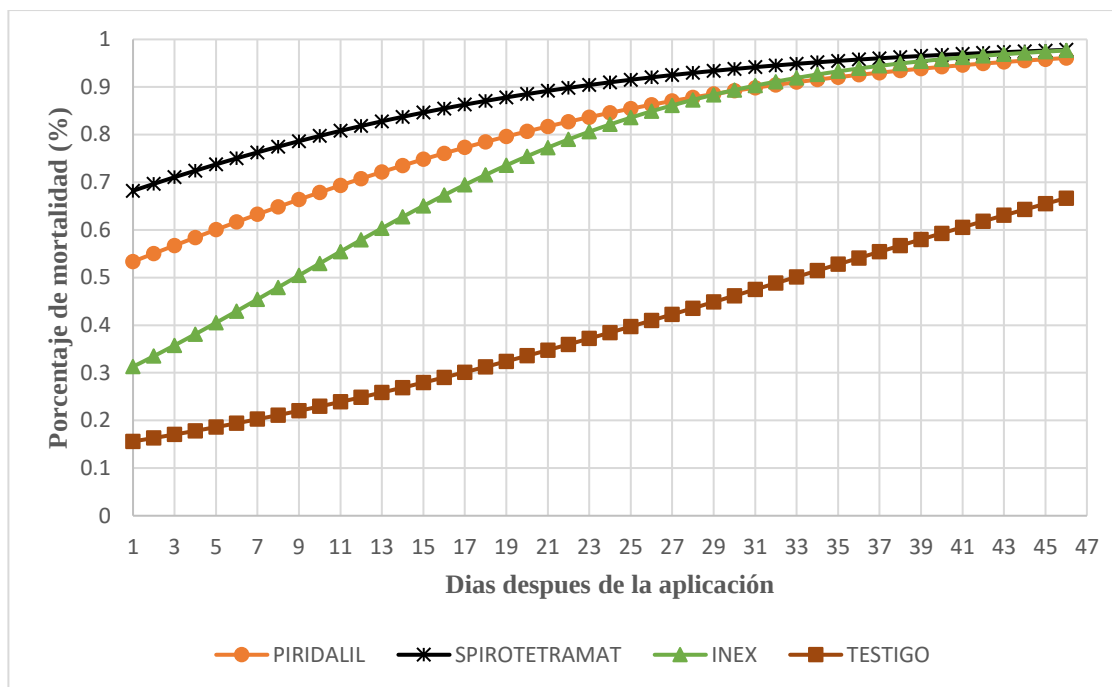


Figura 11. Longevidad de adultos de *Diadegma insulare*.

La tendencia en la variación de longevidad, como un efecto subletal producido por los insecticidas, logró observarse en los tres productos que se evaluaron, y dependió del producto (Figura 11). En el día 20, habían muerto el 46.5, 74.3 y 86.3% de los adultos que fueron tratados con algún adherente o insecticida, y sólo el 23% en el testigo (agua) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Mortalidad acumulada (%) de adultos de *Diadegma insulare* después de la exposición directa a diferentes productos.

Mortalidad acumulada (%)						
Insecticidas	Regresión logística	Mortalidad (%) (1-10 ¹ DDA)	Mortalidad (%) (11-20 DDA)	Mortalidad (%) (21-30 DDA)	Mortalidad (%) (31-40 DDA)	Mortalidad (%) (41-47 DDA)
Spirotetramat	$y = \frac{e^{(0.69 - 0.06x)}}{1 + e^{(0.69 - 0.06x)}}$	74.21	86.36	91.07	94.43	97.50
Piridialil	$y = \frac{e^{(0.06 - 0.06x)}}{1 + e^{(0.06 - 0.06x)}}$	64.21	74.36	80.57	92.64	97.43
Inex	$y = \frac{e^{(-0.88 - 0.10x)}}{1 + e^{(-0.88 - 0.10x)}}$	43.0	46.50	49.00	51.00	52.00
Testigo	$y = \frac{e^{(-1.74 - 0.05x)}}{1 + e^{(-1.74 - 0.05x)}}$	19.50	23.00	26.50	29.00	31.50

¹DDA: Días después de la aplicación

²Categorías IOBC según su Mortalidad: Inofensivo <30%, categoría 1; Ligeramente nocivo 30-79%, categoría 2; moderadamente nocivo 80-99%, categoría 3; altamente nocivo >99%, categoría 4.

De acuerdo a las categorías de la IOBC, los insecticidas se clasificaron según su mortalidad inicial, piridatil y spirotetramat se consideraron moderadamente dañinos (categoría 3, 50-75%), el adherente inx fue levemente dañino (categoría 2).

5.5.2. Cantidad de huevos en adultos de *D. insulare*

De acuerdo con los resultados se encontraron diferencias significativas en uno de los tratamientos respecto al testigo ($F_{2,57}=2.17$, $P=0.1241$). El insecticida piridatil tuvo una disminución estadísticamente significativa de 10 huevos por hembra al compararse con el testigo, por su parte spirotetramat tuvo una ligera variación con respecto al testigo, pero no logró ser significativa (Figura 12).

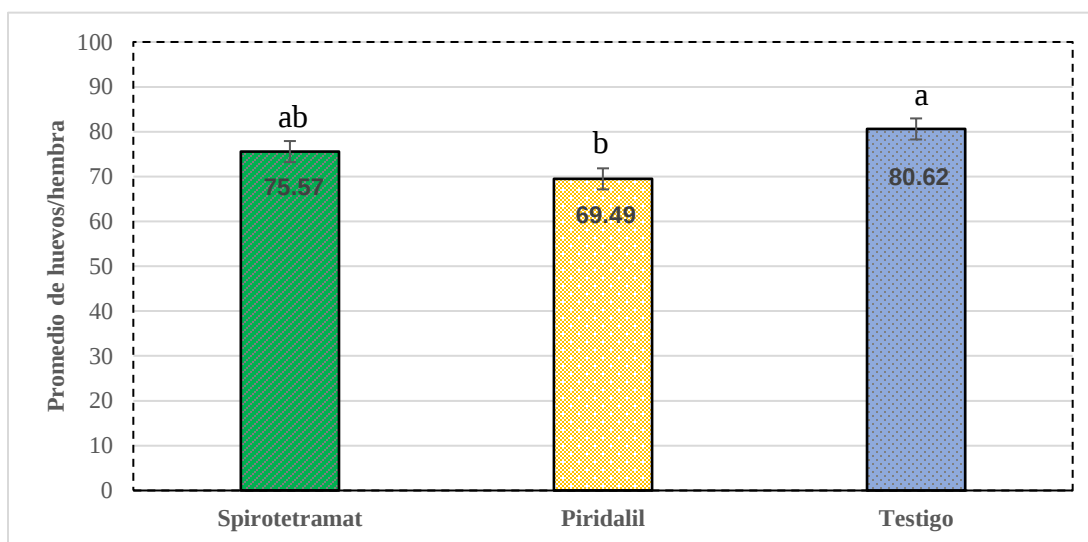


Figura 12. Promedio de huevos en adultos de *Diadegma insulare*. Las letras en las barras indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD; $P \leq 0.05$)

5.6. DISCUSIÓN

5.6.1. Periodo de residualidad de insecticidas en plantas de brócoli.

La integración de plaguicidas con enemigos naturales es una de las alternativas que se han venido estudiando, sin embargo, se requieren hacer ensayos de la compatibilidad que tienen en relación con los insectos benéficos. Se ha demostrado en este estudio que el parasitoide *D. insulare* tuvo efectos adversos

por 7 insecticidas que actualmente se recomiendan en el CBRI (Cuadro básico de recomendación de insecticidas del bajío) en coordinación con el CESAVEG (Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato), recomendados para el control de plagas en crucíferas en México, principalmente la palomilla dorso de diamante. Los cuales tuvieron variación según el tipo de insecticida y el tiempo después de la aplicación. Siendo (Indoxacarb, imidacloprid y spinosad) los que mayor mortalidad y persistencia.

Indoxacarb tuvo una mortalidad 2DDA del 98.2% y una persistencia de 26 días, lo que concuerda con estudios hechos con *Cotesia plutellae* el cual tuvo efectos severos (Hassen et al.,2004). Aunque otros estudios mencionan que este producto puede incluirse en un MIP (Hewa-Kapuge et al.,2003; Liu y Zhang,2012; Ramos et al.,2018), en nuestro estudio se demostró que es altamente toxico y residual.

Algo similar ocurre con imidacloprid, el cual tuvo 96% de mortalidad y una residualidad de 23 días, del mismo modo estudios realizados con *Chrysoperla carnea* donde fue altamente toxico y no selectivo (Cerna et al.,2012), de manera similar sucedió con *Orius laevigatus* donde fueron altamente persistentes incluso hasta 30 días, y causando mortalidades del 100% (Van-de-Veire y Tirry 2003), así como con el parasitoide *Anagrus nilaparvatae* siendo el más toxico aunque su persistencia fue solo 7 días en hojas de arroz (Wang et al.,2008).

Para spinosad en algunos estudios mencionan que la toxicidad y persistencia es baja (Williams et al.,2003), en este experimento se demostró su alta toxicidad inicial (2DDA) del 90.6% y una persistencia de 20 días, categoría 4 debido a su toxicidad y categoría 3, de acuerdo con su persistencia y según la IOBC. Lo cual concuerda con estudios realizados por Hill y Foster (2000) quien obtuvo mortalidades del 100% en *D. insulare* luego de 24 de exposición, de igual forma sucedió con *Tamarixia triozae* (Luna-Cruz et al.,2011, 2015), *Encarsia formosa* (Jones et al.,2005) y *Trichogramma achaeae* (Gallego et al.,2019).

En los ensayos con el insecticida naled concuerdan con Hewa-Kapuge et al.,(2003) donde menciona que fue toxico en aplicaciones de contacto y causo el

95% de mortalidad en *Trichogramma nr. brassicae* cuando estuvo expuesto a sus residuos. Mientras que con piridilil tuvo una mortalidad de 91.6% 2 DDA, teniendo una persistencia de 17 DDA, hay autores que mencionan que este producto puede ser perjudicial para algunas especies como lo fue para *Orius insidiosus* luego de 96 h de haber aplicado el producto (Herrick y Cloyd, 2017). Aunque se ha reportado que su persistencia no ha sido significativa en plantas de algodón (Saito et al., 2004; Abdel-Rahim, 2011), en nuestro estudio este producto es considerado moderadamente persistente (categoría 3, 16-30d).

En cuanto a spirotetramat, autores mencionan que no es tan dañino, sin embargo su mortalidad en este trabajo fue de 88.5% 2DDA y una persistencia de 17 días, esta mortalidad se puede deber a que es un insecticida sistémico capaz de moverse tanto en el xilema como en el floema además de poseer una actividad translaminar, y puede tener efecto en enemigos naturales que en alguna etapa de su vida se alimentan de polen, similar a estudios con *Orios insidiosus* (Varenhorst y O'Neal, 2012) y en parasitoides *Ooencyrtus nezarae* y *Gryon japonicum* que aunque no causó una mortalidad total si tuvo un efecto (Dangi y Lim, 2017).

En cambio, flonicamid se consideró moderadamente dañino 2DDA (categoría 3, 50-75%) de mortalidad, siendo inofensivo 17 DDA, de acuerdo a Jansen et al, (2011) y Colomer et al., (2011) en estudios sobre el parasitoide *Aphidius rhopalosiphii* y *Orius laevigatus* fue moderadamente toxico, y algunas investigaciones mencionan que se puede utilizar en programas MIP hay que tener precauciones al aplicarlo cuando se encuentren enemigos naturales sensibles, ya que impacto que tienen los insecticidas en los enemigos naturales se puede deber al entrar en contacto con ellos (persistencia o dosis) (Desneux et al., 2004).

5.6.2. Efectos subletales

5.6.3. Longevidad de adultos de *Diadegma insulare*

La evaluación de los efectos subletales en insectos benéficos es muy importante antes de incluirlos en programas MIP, ya que estos efectos, en algunas ocasiones no causan mortalidades sobre parasitoides/depredadores, sin embargo, puede alterar sus características fisiológica y/o de comportamiento (Stanley y Preetha, 2016).

En este trabajo, luego de la aplicación de spirotetramat, piridalil e inex, mediante la aplicación directa fueron los productos que causaron una mortalidad significativa de 74.21, 64.21 y 46.5% respectivamente en los primeros 10 días sobre adultos de *D.insulare*, luego la población empezó a disminuir teniendo una duración de 46 y 44 días. Lee y Hutchinson (2005), mencionan que el ciclo de vida de *D. insulare* puede extenderse hasta 32 días de acuerdo a su alimentación, por lo que estos productos a pesar de causar mortalidades significativas no infirieron respecto a su longevidad esto concuerda con estudios realizados con otras especies, para el caso de spirotetramat Planes et al.,(2013) donde evaluó este producto con el depredador *Cryptolaemus montrouzieri*, el cual resulto inofensivo sobre su longevidad, supervivencia y fecundidad.

Para el producto piridalil no se han evaluado efectos subletales sin embargo se han probado con otros insectos mediante pruebas letales, Saito et al.,(2005) evaluó este producto sobre *Orius stringicollis* y *Bombus terrestres* el cual fue inofensivo. Para el caso del coadyuvante inex, no se tiene registro de que causa algún efecto en enemigos naturales, sin embargo, hay estudios relacionados con el efecto indirecto que pueden tener los plaguicidas los cuales no están relacionados con el ingrediente activo si no con los ingredientes inertes (dispersantes, humectantes, dispersantes, coadyuvantes, adherentes, penetrantes, emulsificantes) (García y Tarango,2009; Cloy,2012). Esto se ha demostrado por Cowles et al.,(2000), donde Dyne-Amic, un surfactante causo una mortalidad >70% en ácaros, seguido del ingrediente activo.

5.6.4. Cantidad de huevos en adultos de *Diadegma insulare*

En nuestro trabajo luego de la aplicación del producto spirotetramat por contacto directo descrito anteriormente, este producto no tuvo un efecto significativo en la producción de huevos en hembras de *D. insulare*. En evaluaciones en laboratorio y campo con este producto no tiene efectos secundarios con enemigos naturales (Elizondo y. Murguido 2010). Lui et al(2012), menciona que al aplicar spirotetramat en adultos de *Tamarixia triozae* no tuvo efecto, sin embargo, las hembras que ingirieron este producto tuvieron una reducción el parasitismo, cabe mencionar que diferentes autores han evaluado este producto con diferentes especies (parasitoides y/o depredadores) pero no se había evaluado con el parasitoide *D. insulare* por lo que este trabajo es novedoso bajo la evaluación de este parámetro.

Por otro lado, piridalil tuvo un efecto distinto ya que, si hubo una reducción estadísticamente significativa en la producción de huevos en hembras de *D. insulare*, con respecto al testigo, este producto se había evaluado sobre el efecto ovicida de *P. xylostella*, no obstante no se tenía registro del efecto subletal que pudiera causar a su parasitoide *D. insulare*, en cambio Saito et al.,(2005) evaluó este producto sobre *Orius stringicollis* y *Bombus terrestris* por el método de pulverización directa, no observando ningún efecto toxico.

. 5.7. CONCLUSIONES GENERALES

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación Indoxacarb, imidacloprid y spinosad son altamente tóxicos luego de 2DDA , además de tener una moderada persistencia en plantas de brócoli para el parasitoide *Diadegma insulare*, piridalil, spirotetramat y naled son tóxicos para el parasitoide 2DDA aunque su periodo de residualidad es más corto, aunque según la clasificación de la IOBC, según su persistencia se clasifican en (categoría, 3 16-30d) por otro lado flonicamid es considerado moderadamente dañino (categoría 3, 50-75% de mortalidad), luego de la aplicación del producto, y de acuerdo a su persistencia se clasifican en (categoría, 3 16-30d) igual a los productos anteriores.

En cuanto a la evaluación de los efectos subletales, en el parámetro de la longevidad spirotetramat, piridalil e inex tienen un efecto letal los primeros 10 d, DDA, luego su efecto fue disminuyendo no reduciendo su longevidad del parasitoide. de acuerdo a la IOBC, spirotetramat, piridalil y el adherente inex fueron ligeramente nocivos (categoría 2, 30-79%) de mortalidad, respecto al testigo.

En el caso de la producción de huevos en hembras adultas de *D. insulare*, spirotetramat no tuvo una disminución estadísticamente significativa respecto al testigo y no fue diferente de piridalil, mientras que piridalil tuvo una disminución estadísticamente significativa respecto al testigo.

En futuras evaluaciones se debería incluir la evaluación de otros parámetros como él (parasitismo, capacidad de búsqueda) los cuales nos pudieran proporcionar información importante en el efecto que pueden tener diferentes aplicaciones de insecticidas sobre la fauna benéfica.

6. LITERATURA CITADA

- (IRAC) Insecticide Resistance Action Committee. (2019). *Mode of action and classification of insecticides*. Recuperado de <http://www.irac-online.org/documents/moa-classification>.
- Abdel-Rahim, E.F.M (2011). Comparative bio-residual activity of pyridalyl and methomy insecticides against larvae of the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (boisd.). *Egypt. J Agric Res*, 89 (1), 55-71.
- Bahar, M.H., Soroka, J.J., Dosdall, L.M., y Olfert, O.O. (2013) Occurrence of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), and its larval parasitoids across Saskatchewan, Canada. *Biocontr Sci Tech*, 23(6), 724-729, doi: 10.1080/09583157.2013.790343
- Borror, A. J., DeLong, D. M., y Triplehorn, C. A. (1989). *An introduction to the study of insects*. CA, United States: Cengage Learning, Inc.
- Bostanian, N. J., y Akalach, M. (2004). The contact toxicity of indoxacarb and five other insecticides to *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) and *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae), beneficials used in the greenhouse industry. *Pest Manag Sci*, 60(12), 1231–1236. doi:10.1002/ps.938

- Cerna, E., Ail, C., Landeros, J., Sánchez, S., Badii, M., Aguirre, L., y Ochoa, Y. (2012). Comparison of toxicity and selectivity of the pest *Bactericera cockerelli* and its predator *Chrysoperla carnea*. *Agroscie*, 46(8), 783-793.
- CESAVEG (Comité estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato). (2017). Programa de trabajo de campaña manejo fitosanitario de hortalizas. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/303342/Manejo_fitosanitario_de_hortalizas.pdf.
- Cloyd, R. (2012). Indirect Effects of Pesticides on Natural Enemies. En R.P. Soundararajan. *Pesticides Advances in Chemical and Botanical Pesticides* (pp.127-150). Rijeka, Croatia: Tech Edit. doi: 10.5772/48649.
- Cloyd, R. A., y Dickinson, A. (2006). Effect of insecticides on Mealybug Destroyer (Coleoptera: Coccinellidae) and parasitoid *Leptomastix dactylopii* (Encyrtidae), natural enemies of citrus Mealybug (Homoptera: Pseudococcidae). *J Econ Entomol*, 99(5), 1596-1604. doi:10.1093/jee/99.5.1596.
- Colomer, I., Aguado, P., Medina, P., Heredia, R. M., Feredes, A., Belda, J. E., y Viñuela, E. (2011). Field trial measuring the compatibility of methoxyfenozide and flonicamid with *Orius laevigatus* Fieber (Hemiptera: Anthocoridae) and *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae) in a commercial pepper greenhouse. *Pest Manag Sci*, 67(10), 1237-1244.
- Cowles, R.S., Cowles, E.A., McDermott, A.M., Ramoutar, D. (2000). "Inert" Formulation Ingredients with Activity: Toxicity of Trisiloxane Surfactant Solutions to Twospotted Spider Mites (Acari: Tetranychidae). *J Econ Entomol*; 93(2), 180-188.
- Dangi, N., y Lim, U. T. (2017). Relative Toxicity of Spirotetramat to *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) and its Egg Parasitoids. *J Econ Entomol*, 110(5), 2016–2021. doi:10.1093/jee/tox212
- Desneux, N., Pham-Delègue, M.H., y Kaiser, L. (2004). Effects of sub-lethal and lethal doses of lambda-cyhalothrin on oviposition experience and host-searching behaviour of a parasitic wasp, *Aphidius ervi*. *Pest Manag Sci*; 60(4), 381-389. doi:10.1002/ps.822.
- Elizondo, A. S., y. Murguido, C.A. (2010). Spirotetramat, nuevo insecticida para el control de insectos chupadores en el cultivo de la papa. *FITOSANIDAD*, 14(4), 229-234.
- Gallego, J., Guerrero-Manzano J., Fernandez-Maldonado F.J., y Cabello T. (2019). Susceptibility of the egg parasitoid *Trichogramma achaeae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to selected insecticides used in tomato greenhouses. *Spain J Agric Res*, 17(2), 1009. doi:10.5424/sjar/2019172-14413.

- García, N.G., y Tarango, R.H. (2009). Coadyuvantes y aspersiones foliares. INIFAP. Folleto técnico N°28. México, Delicias-INIFAP. pp23.
- Gonzaga, A. J. (2017). *Influencia de un suplemento a base de proteína en la biología reproductiva de hembras de Catolaccus hunteri (Hymenoptera: Pteromalidae)*. (Tesis doctoral). Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México.
- Haseeb M, Liu, T-X., y Jones, W.A. (2004) Effects of selected insecticides on *Cotesia plutellae* endoparasitoid of *Plutella xylostella*. *Biocontrol* 49,33–46. doi:10.1023/B:BICO.0000009377.75941.d7.
- Hassan, S. A. (1992). Guideline for the evaluation of side effects of plant protection product on *Trichogramma cacoeciae*. IOBC/WPRS Working Group: Pesticides and Beneficial Organisms. *Entomophaga*, 3,18-39.
- Hassan, S.A., Bigler, F., Bogenschotz, H., Boller, E., Brun, J., Calis, J.N.M., Coremans-Pelseneer, J., Duso, C., Grove, A., Heimbach, U., Helyer, N., Hokkanen, H., Lewis, G.B., Mansour, F., Moreth, L., Polgar, L., Samsøe-Petersen L., Sauphanor B., Stäubli A., Sterk G., Vainio A., Van M., Viogiani G. y Vogt H. (1994). Results of the sixth joint pesticide testing program of the IOBC/WPRS-Working group "pesticides and beneficial organisms". *Entomophaga*, 39, 107-119.
- Herrick, N. J., y Cloyd, R. A. (2017). Direct and Indirect Effects of Pesticides on the Insidious Flower Bug (Hemiptera: Anthocoridae) Under Laboratory Conditions. *J Econ Entomol*, 110(3), 931–940. doi:10.1093/jee/tox093
- Hewa-Kapuge, S., McDougall, S., y Hoffmann, A.A. (2003). Effects of methoxyfenozide, indoxacarb, and other insecticides on the beneficial egg parasitoid *Trichogramma nr. brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) under laboratory and field conditions. *J Econ Entomol*, 96(4), 1083-1090. doi: 10.1093/jee/96.4.1083
- Hill, T. A., y Foster, R.E. (2000). Effect of Insecticides on the Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae) and Its Parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *J Econ Entomol*, 93(3). 763-768. doi: 10.1603/0022-0493-93.3.763.
- Jansen, J. P., Defrance, T. y Wamier. A. M. (2011). Side effects of flonicamide and pymetrozine on five aphid natural enemy species. *BioControl*. 56, 759-770. doi:10.1007/s10526-011-9342-1
- Jones, T., Scott-Dupree. C., Harris, R., Shipp, L., y Harris, B. (2005). The efficacy of spinosad against western flower trips *Frankliniella occidentalis* and its impact on associated biological control agents on greenhouse cucumbers in southern Ontario. *Pest Manag Sci*, 61(2), 179-185.
- Lee, J.C., Carrillo, M.A., y Hutchison, W.D. (2005). *Diadegma insulare*. Department of Entomology, University of Minnesota. Recuperado de <https://www.vegedge.umn.edu/pest-profiles/beneficials/diadegma-insulare>.

- Liu, T.-X., Zhang, Y.-M., Peng, L.-N., Rojas, P., y Trumble, J. T. (2012). Risk Assessment of Selected Insecticides on *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae), a Parasitoid of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae). *J Econ Entomol*, 105(2), 490–496. doi:10.1603/ec11295.
- Liu, TX., y Zhang Y.(2012). Side effects of two reduced-risk insecticides, indoxacarb and spinosad, on two species of Trichogramma (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on cabbage. *Ecotoxicology*, 21(8), 2254-2263. doi: 10.1007/s10646-012-0981-5.
- Luna-Cruz A., Lomeli-Flores J.R., Rodríguez-Leyva E., Ortega-Arenas L.D. y Huerta A. (2011). Toxicidad de cuatro insecticidas sobre *Tamarixia triozae* (Burks) (Hymenoptera: Eulophidae) y su hospedero *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae). *Acta Zool Mex*, 27(3), 509-526.
- Luna-Cruz A., Rodríguez-Leyva E., Lomeli-Flores J.R., Ortega-Arenas L.D., Bautista-Martínez y Pineda S. (2015). Toxicity and Residual Activity of Insecticides Against *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae), a Parasitoid of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae). *J Econ Entomol*, 108(5), 2289-2295. doi:10.1093/jee/tov206.
- Payne, R.W., D. A. Murray, S. A. Harding, D. B. Baird, y D. M. Soutar. (2005). GenStat for Windows, 8th ed. Introduction. VSN International, Hemel Hempstead, United Kingdom.
- Payne, R.W., Murray, D. A., Harding, S. A., Baird, D. B., y Soutar, D. M. (2005). GenStat for Windows, 8th edn. Introduction. VSN International, Hemel Hempstead, United Kingdom.
- Planes, L., Catalán, J., Tena, A., Porcuna, J. L., Jacas, J. A., Izquierdo, J., y Urbaneja, A. (2013). Lethal and sublethal effects of spirotetramat on the mealybug destroyer, *Cryptolaemus montrouzieri*. *J Pest Sci* 86, 321–327. doi:10.1007/s10340-012-0440-3
- Ramos, R.S., de Araújo, V.C., Pereira, R.R., Martins, J.C., Queiroz, O.S., Silva, R.S., y Picanço, M. C. (2018). Investigation of the lethal and behavioral effects of commercial insecticides on the parasitoid wasp *Copidosoma truncatellum*. *Chemosphere*, 191, 770-778. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.10.113
- Saito, S., Isayama, S. Sakamoto, N., y Umeda, K. (2004). Insecticidal activity of pyridalyl: Acute and sub-acute symptoms in *Spodoptera litura* larvae. *J Pestic Sci*, 29(4), 372-375. doi: 10.1584/jpestics.29.372.
- SAS Institute (2010) The SAS system for Windows, release 10.1. Cary, N.C
- Stanley, J., y Preetha, G. (2016). *Pesticide Toxicity to Non-target Organisms: Exposure, Toxicity and Risk Assessment Methodologies*. Doi: 10.1007/978-94-017-7752-0.

- Van-de-Veire, M., y Tirry, L. (2003). Side effects of pesticides on four species of beneficials used in IPM in glasshouse vegetable crops: 'Worst case' laboratory tests. *IOBC/WPRS Bull.* 26(5), 41–50.
- Varenhorst, A. J., and M. E. O'Neal. 2012. The response of natural enemies to selective insecticides applied to soybean. *Environ. Entomol.* 41, 1565–1574.
- Wang, H.Y., Yang, Y., Su, J.Y., Shena, J.L., Gao, C.F., y Zhu, Y.C. (2008). Assessment of the impact of insecticides on *Anagrus nilaparvatae* (Pang et Wang) (Hymenoptera: Mymaridae), an egg parasitoid of the rice planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). *Crop Prot.* 27(3-5), 514–522. doi: 10.1016/j.cropro.2007.08.004.
- Williams, T., Valle, J., Viñuela, E. (2013). Is the naturally derived insecticide spinosad® compatible with insect natural enemies. *Biocontr. Sci. Technol.* 13(5), 459–475. doi:10.1080/0958315031000140956.

7. ANEXOS

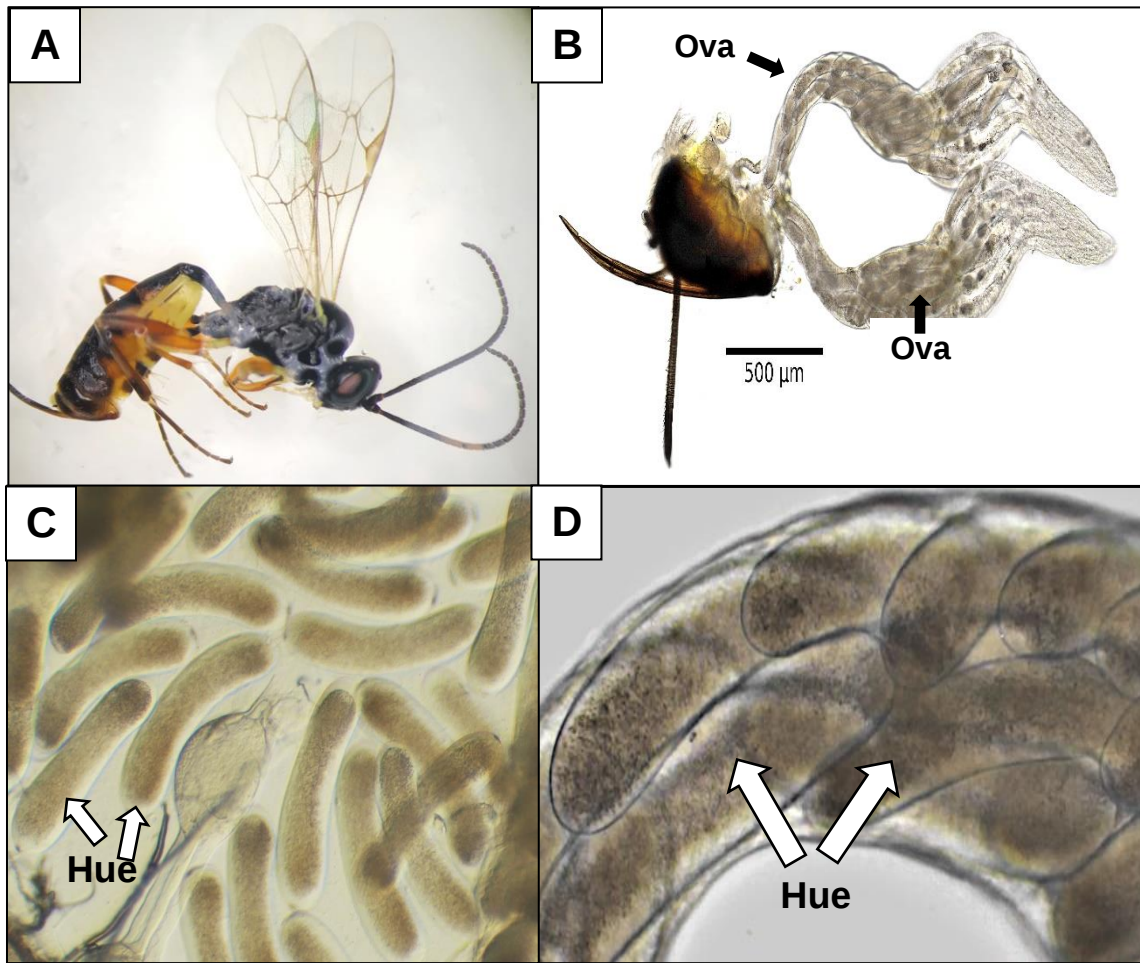


Figura 13. Hembra de *Diadegma insulare* (A) morfología de ovariolas, Ova, ovariola (B) Hue, huevo, fuera de las ovariolas (C) Hue, huevo, dentro de las ovariolas (D).