



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO EN FITOSANIDAD**

**ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA**

**CONTROL BIOLÓGICO POR CONSERVACIÓN DE *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) MEDIANTE EL PARASITOIDE *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) EN BRÓCOLI**

**LUIS FELIPE SAN MARINO CID AGUILAR**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO**

**2021**

La presente tesis titulada “Control biológico por conservación de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) mediante el parasitoide *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) en brócoli” realizada por el alumno; Luis Felipe San Marino Cid Aguilar bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
FITOSANIDAD  
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

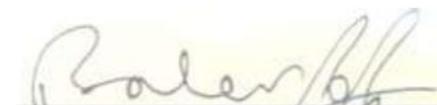
CONSEJERO



---

Dr. J. Rufino Lomeli Flores

ASESOR



---

Dr. Esteban Rodríguez Leyva

ASESOR



---

Dr. Fernando Tamayo Mejía

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2021

**CONTROL BIOLÓGICO POR CONSERVACIÓN DE *Plutella xylostella*  
(LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) MEDIANTE EL PARASITOIDE *Diadegma  
insulare* (HYMENOPTERA: ICHNEUMONIDAE) EN BRÓCOLI**

Luis Felipe San Marino Cid Aguilar M.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

**RESUMEN**

La palomilla dorso de diamante, *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae), es una especie cosmopolita y destructiva en los cultivos de brasicáceas en el mundo. El principal método de control ha sido el uso de insecticidas, pero este ha perdido eficacia ya que esta plaga ha desarrollado resistencia a estos, por lo que se ha optado por alternativas como la conservación de enemigos naturales como *Diadegma insulare*, parasitoide más común en *P. xylostella*, proporcionando fuentes de refugio y alimento. El objetivo de este trabajo fue cuantificar el efecto de suplementos alimenticios sobre la longevidad en adultos de *D. insulare* a su vez evaluar el uso de plantas con flores (*Lobularia marítima*) y una solución de carbohidratos, sobre el parasitismo en cultivos de brócoli, y en laboratorio longevidad y fecundidad en adultos de *P. xylostella* y *D. insulare*. En laboratorio, *D. insulare* sobrevivió diez días más cuando se alimentó con fructosa, en comparación con agua. El nivel de parasitismo en los lotes donde se aplicó fructosa fue casi el doble (82%) en comparación al testigo (42%). La sobrevivencia de adultos de *D. insulare* fue similar cuando fueron alimentados con fructosa al 5% (4.6 d) y con plantas (3.4 d), pero fue menor a cuando solo se le proporcionó agua (2 d). Por otro lado, *P. xylostella* sobrevivió más días cuando fue alimentada con fructosa (16.9 d) que con *L. marítima* (6.6 d) y solo agua (4.7 d). El parasitoide no presentó diferencias entre los tratamientos para fecundidad; sin embargo, *P. xylostella* tuvo un mayor número de huevos cuando fue alimentada con fructosa (81.7 huevos) en comparación con los otros tratamientos. Se discuten los beneficios potenciales del uso de suplementos alimenticios en programas de control biológico.

**Palabras clave:** Palomilla dorso de diamante, *Diadegma insulare*, *Lobularia marítima*, suplementos alimenticios.

**CONSERVATION BIOLOGICAL CONTROL OF *Plutella xylostella***  
**(LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) USING THE PARASITOID *Diadegma insulare***  
**(HYMENOPTERA: ICHNEUMONIDAE) IN BROCCOLI**

Luis Felipe San Marino Cid Aguilar M.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

**ABSTRACT**

The diamond back moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae), is a cosmopolitan and destructive species in brassica crops around the world. The main control method has been the use of insecticides, but this has lost effectiveness since this pest has developed resistance to them. Because of this, there has been an uptick in alternatives like preserving natural enemies such as *Diadegma insulare*, the most common parasitoid of *P. xylostella*, while providing sources of shelter and food. The research objective of this proposal was to quantify the effect of food supplements on longevity in adults of *D. insulare*, while evaluating the use of flowering plants (*Lobularia maritima*) and a carbohydrate solution, on parasitism in broccoli crops. Longevity and fertility in adults of *P. xylostella* and *D. insulare* in laboratory conditions were also measured. In the laboratory, *D. insulare* survived 10 days longer when fed fructose, compared to water. The level of parasitism in the lots where fructose was applied was almost double (82%) than the control (42%). Survival of *D. insulare* adults was similar when they were fed 5% fructose (4.6 d) and plants (3.4 d), but it was lower than when only water was provided (2 d). On the other hand, *P. xylostella* survived more days when it was fed with fructose (16.9 d) than when with *L. maritima* (6.6 d) or with only water (4.7 d). The parasitoid did not show differences between the fertility treatments; however, *P. xylostella* had a higher number of eggs when fed fructose (81.7 eggs) compared to the other treatments. In this document the potential benefits of the use of dietary supplements in biological control programs is discussed.

Key words: Diamond back moth, *Diadegma insulare*, *Lobularia maritima*, dietary supplements.

## DEDICATORIA

A mi madre, por siempre apoyarme y creer en mí.

A Gabriela Islas López, por tu infinito apoyo, amor y comprensión.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar mis estudios de Maestría.

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional.

Al Dr. J. Refugio Lomeli Flores, por incluirme en su equipo de trabajo y ser parte de todo mi proceso de formación académica. Por su tiempo y dedicación para culminar con este trabajo de investigación.

Al Dr. Esteban Rodríguez Leyva, por tener un punto de vista profesional y objetivo durante la realización de la investigación, y por darse el tiempo de resolver todas las dudas que se presentaron durante mi formación.

A todos los profesores que contribuyeron a mi formación académica.

A mis compañeros y amigos que estuvieron durante este proceso.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
LISTA DE CUADROS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
CAPÍTULO I. PLANTAS CON FLORES O FRUCTOSA ¿PUEDEN FOMENTAR EL CONTROL BIOLÓGICO DE <i>Plutella xylostella</i> ? .....	4
1.1 RESUMEN .....	4
1.2 INTRODUCCIÓN .....	5
1.3 MATERIALES Y MÉTODOS .....	7
Suplementos alimenticios en laboratorio e impacto en la longevidad de <i>Diadegma insulare</i> .....	7
Recursos florales o fructosa en cultivos de brócoli .....	9
1.4 RESULTADOS.....	12
Suplementos alimenticios en laboratorio e impacto en la longevidad de <i>Diadegma insulare</i> .....	12
Recursos florales o fructosa en cultivos de brócoli .....	13
1.5 DISCUSIÓN .....	15
Suplementos alimenticios en laboratorio e impacto en la longevidad de <i>Diadegma insulare</i> .....	15
Recursos florales o fructosa en cultivos de brócoli .....	17
CAPÍTULO II. EFECTO DE SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS Y RECURSOS FLORALES EN LA BIOLOGÍA DE <i>Plutella xylostella</i> y <i>Diadegma insulare</i> .....	20
2.1 RESUMEN .....	20
2.2 INTRODUCCIÓN .....	21
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
Insectos y plantas .....	23
Tratamientos y conducción del experimento.....	24
Análisis estadístico .....	25
2.4 RESULTADOS.....	26

Longevidad de <i>Diadegma insulare</i> y <i>Plutella xylostella</i> .....	26
Parasitismo como medida de fecundidad en <i>Diadegma insulare</i> .....	27
Fecundidad de <i>Plutella xylostella</i> .....	27
2.5 DISCUSIÓN .....	28
DISCUSIÓN GENERAL .....	31
CONCLUSIONES.....	34
LITERATURA CITADA.....	35

## LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1. Tratamientos de carbohidratos, proteínas o la mezcla de éstos, para evaluar longevidad de *Diadegma insulare* en condiciones de laboratorio. Cualquier suplemento se disolvió en 100 ml de agua para tener una solución de 5% de carbohidratos y/o 1% de proteína.  
..... 9
- Cuadro 2. Efecto de los suplementos alimenticios en el porcentaje de parasitismo, porcentaje de daño en plantas y número de larvas de tercer y cuarto instar..... 14

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Longevidad promedio en días (Media + EE) de adultos de *Diadegma insulare* alimentados con diferentes tipos de proteínas, carbohidratos o su combinación ..... 13
- Figura 2. Comparación del promedio de longevidad (días) (Media + EE) de *Diadegma insulare* y *Plutella xylostella* en las dos fuentes de nutrientes (alyssum, fructosa) y el testigo (agua). ..... 27

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El brócoli [*Brassica oleracea* var. *Italica* (Plenck 1794)] es una hortaliza perteneciente a la familia de las crucíferas; la planta mide de 60 a 90 cm de altura, y termina en una masa de flores de color verde (florete) que puede alcanzar un diámetro de hasta 35 centímetros; su cultivo es de ciclo anual, pero generalmente de trasplante a cosecha necesita sólo de 95-105 días (SIAP, 2020).

En 2019 la producción de brócoli en México se desarrolló en 34,472 ha y se cosecharon 614,437 ton. El estado de Guanajuato ocupó el primer lugar de producción nacional con 24,116 ha y 418,582 ton de producto (SIACON NG, 2020), por lo que representa la principal actividad hortícola del estado.

Si bien este cultivo es afectado por una serie de organismos nocivos, la plaga de mayor importancia económica es la palomilla dorso de diamante (PDD), *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae). La presencia de este insecto, aunque generalmente no afecta el rendimiento de forma significativa del brócoli y otras crucíferas cultivadas, si representa un daño indirecto ya que las larvas se alimentan del tejido interno de las hojas, y tienden a pupar en el florete lo que daña la estética y calidad del producto comercial (Fernández *et al.*, 2003; Bujanos *et al.*, 2013).

En las últimas décadas la PDD ha tomado importancia como plaga, debido al uso indiscriminado de insecticidas y a las malas prácticas en la aplicación de éstos, lo que ha propiciado la selección de poblaciones resistentes a diversos productos químicos y a algunos formulados a partir de *Bacillus thuringiensis* Berliner, 1915

(Tabashnik *et al.*, 1997). El control químico no puede ser la única herramienta de manejo de este insecto, por lo que se tiene la necesidad de recurrir a otras tácticas como el uso de control biológico, que en esencia se define como “el uso de organismos para suprimir la densidad de población o el impacto de un organismo plaga específico, haciéndolo menos abundante de lo que sería si no se utilizaran dichos organismos” (DeBach, 1964; Hama, 1992; Talekar y Shelton, 1993).

Se ha demostrado que los enemigos naturales, cuando se conservan dentro del concepto de manejo integrado de plagas, juegan un papel importante en la reducción de poblaciones de *P. xylostella* (Talekar y Shelton, 1993). Existen reportes de alrededor de 130 especies de enemigos naturales asociados a la palomilla dorso diamante que la atacan en sus diferentes estadios, entre estos destaca el parasitoide *Diadegma insulare* (Cresson, 1865) (Hymenoptera: Ichneumonidae), esta especie se encuentra de forma natural desde los Estados Unidos de Norteamérica hasta Centroamérica, por lo que se podría implementar su uso dentro de un programa de control biológico ya sea de forma aumentativa y/o por conservación (Sarfraz *et al.*, 2005).

El control biológico por conservación se basa en “la modificación del ambiente, o el uso de las prácticas existentes, para proteger y aumentar los enemigos naturales específicos u otros organismos con la finalidad de reducir el efecto de las plagas” (DeBach, 1964). Algunas modalidades incluyen la provisión o siembra de plantas hospederas nativas o introducidas que proveen de alimento (polen y néctar), refugio para enemigos naturales (ya sea parasitoides o depredadores) así como el correcto uso de insecticidas, para promover en las poblaciones de insectos benéficos

características deseables como una mayor longevidad y alta tasa de parasitismo o depredación (Winkler y Wäckers, 2010; Maulina y Muflihayati, 2013).

El presente trabajo se desarrolló con la finalidad de cubrir los siguientes aspectos: evaluar e implementar fuentes de proteína y carbohidratos como suplementos alimenticios, así como la utilización de plantas con flor en laboratorio y cultivos de brócoli, como base para un programa de control biológico por conservación utilizando al parasitoide *D. insulare*. Se espera favorecer el establecimiento de este insecto y con ello lograr una acción reguladora sobre *P. xylostella*.

En el capítulo I de este documento se presenta la evaluación, a nivel de laboratorio, de diferentes carbohidratos y proteínas, así como su combinación en la longevidad de *D. insulare*. Además, a nivel de campo se evaluó el efecto de la aspersion de una solución de carbohidratos y la inclusión de plantas con flor sobre los niveles de control que ejerce el parasitoide *D. insulare* sobre *P. xylostella* en el cultivo de brócoli. En el capítulo II se comparó el efecto de plantas con flor y una solución de fructosa en la longevidad y la fecundidad de *D. insulare* y *P. xylostella* en condiciones de laboratorio.

# CAPÍTULO I. PLANTAS CON FLORES O FRUCTOSA ¿PUEDEN FOMENTAR EL CONTROL BIOLÓGICO DE *Plutella xylostella*?

## 1.1 RESUMEN

El acceso a una fuente de carbohidratos se considera indispensable para que los parasitoides manifiesten su potencial reproductivo en campo. En los agroecosistemas comerciales las fuentes de carbohidratos están limitadas en periodos prolongados del ciclo de los cultivos, por lo que estos recursos se deberían proporcionar para favorecer la presencia, permanencia y actividad de parasitoides. El objetivo de este trabajo fue cuantificar el efecto de suplementos alimenticios sobre la longevidad en adultos de *Diadegma insulare*, parasitoide de la palomilla dorso de diamante, así como evaluar el efecto de asociar plantas de *Lobularia maritima*, y una solución de fructosa en el cultivo de brócoli, sobre las poblaciones de *Plutella xylostella* y este parasitoide. En laboratorio, *D. insulare* sobrevivió diez días más cuando se alimentó con fructosa, en comparación con agua. El nivel de parasitismo en los lotes donde se aplicó fructosa fue casi el doble (82%) en comparación al testigo (42%), y se encontraron diferencias entre tratamientos en cinco fechas de muestreo. En el promedio de larvas, así como en el porcentaje de daño en planta no existieron diferencias entre tratamientos.

## 1.2 INTRODUCCIÓN

La palomilla dorso de diamante, *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae), es una especie cosmopolita y destructiva en los cultivos de brasicáceas en el mundo (Talekar y Shelton, 1993; Bujanos *et al.*, 2013; Furlong *et al.*, 2013); y el principal método de manejo es el uso de insecticidas. Sin embargo, este es cada vez menos eficiente debido a que esta plaga ha desarrollado resistencia a un gran número de moléculas químicas (Ankersmit, 1953; Sarfraz *et al.*, 2005), también a productos a base de *Bacillus thuringiensis* (Tabashnik *et al.*, 1997). Por lo que se han buscado alternativas, por ejemplo, el uso de agentes de control biológico como parte de un programa de manejo integrado de plagas (Norris *et al.*, 2005).

Hay gran cantidad de enemigos naturales asociados *P. xylostella*, tanto en el área de origen como en las de introducción. De acuerdo con Goodwin (1979), esta plaga cuenta con alrededor de 90 especies de parasitoides asociados a todos sus estados de desarrollo. Entre toda esta variedad destaca el género *Diadegma* (Hymenoptera: Ichneumonidae), que es considerado uno de los principales reguladores de las poblaciones de *P. xylostella* (Waage, 1983; Ooi, 1992; Munir *et al.*, 2018). Este género incluye 201 especies a nivel mundial (Yu y Horstmann, 1997). *Diadegma insulare* (Cresson, 1865) (Hymenoptera: Ichneumonidae) destaca por ser el parasitoide más común de *P. xylostella* en América, y está presente desde el sur de Canadá hasta Venezuela (Furlong *et al.*, 2013), por lo que se ha sugerido fomentar su presencia dentro de los programas de manejo integrado de esta plaga (Bolter y Laing, 1983; Wang y Keller, 2002).

Una fuente rica en carbohidratos y proteínas es un elemento significativo para los parasitoides sinovigénicos, como es el caso de *D. insulare*, ya que su biología y comportamiento suelen estar sujetos al estado nutricional del insecto (Leatemia *et al.*, 1995; Wäckers, 2004). Las principales fuentes de nutrientes disponibles de forma natural para los parasitoides son el polen, néctar floral, extrafloral y las mielecillas producidas por algunos hemípteros (Zoebelein, 1956; Idris y Grafius, 1995; Wäckers y van Rijin, 2005; Tena *et al.*, 2018). Idris y Grafius (2001) señalaron que *D. insulare* prefiere permanecer en ambientes con refugios y fuentes de alimento como las inflorescencias de *Daucus carota* (Linnaeus, 1753) (Apiaceae), algunas brasicáceas silvestres como alyssum [*Lobularia maritima* (Linnaeus, 1753) Desv. (Brassicaceae)] y el trigo sarraceno [*Fagopyrum esculentum* Moench, 1794 (Polygonaceae)] (Lee y Heimpel, 2008). El control biológico por aumento de *P. xylostella* registró mejores resultados cuando se liberaron parasitoides (*D. insulare*) en ambientes donde había esas especies de plantas (Badenes-Pérez, 2019; Johanowicz y Mitchell, 2000).

Se ha demostrado que el néctar y polen son importantes para la alimentación de los enemigos naturales; sin embargo, estos son limitados en los monocultivos de hortalizas (Gurr *et al.*, 2004). Por esta razón, se ha propuesto incrementar la disponibilidad de estos recursos, con la incorporación de plantas con flores o con la aspersión directa de sustancias ricas en carbohidratos; por ejemplo, formulaciones que emulen mielecillas de áfidos o néctar floral, con lo cual se podría mejorar la conservación de enemigos naturales e incrementar la acción de agentes de control biológico en el cultivo (Jervis *et al.*, 1993; Olson *et al.*, 2005; Wade *et al.*, 2008).

Considerando lo anterior se realizaron ensayos de laboratorio para evaluar el efecto de tres fuentes de carbohidratos y tres de proteínas sobre la longevidad de *D. insulare*. Adicionalmente, considerando los resultados de las pruebas de laboratorio, a nivel de campo se evaluó el grado de control que ofrecen los parasitoides sobre *P. xylostella* en cultivos de brócoli donde se incorporaron plantas de alyssum (*Lobularia maritima*) y la aplicación de una solución de carbohidratos.

### 1.3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### **Suplementos alimenticios en laboratorio e impacto en la longevidad de *Diadegma insulare***

Los ejemplares de *D. insulare* se recibieron en etapa de pupa de la empresa “Rancho Medio Kilo” de Aguascalientes, México. Una vez en el laboratorio, las pupas se colocaron en una caja Petri ( $\varnothing = 10$  cm) dentro de un recipiente de plástico (26 x 13 x 13 cm) con un orificio lateral (13 x 7cm), cubierto con tela de organza, para favorecer ventilación. De allí se recolectaron los adultos para el ensayo siguiente. Los experimentos se iniciaron con adultos de *D. insulare*  $\leq 24$  h de edad, cada adulto se aisló en un criotubo de polipropileno ( $\varnothing = 2$  ml), y cada recipiente tuvo una perforación en la tapa ( $\varnothing = 1$  cm), misma que se cubrió con tela de organza para favorecer la ventilación y suministrar alimento. Cada individuo se consideró una repetición.

Para este ensayo se incluyeron tratamientos a base de carbohidratos (sacarosa, melaza y fructosa), proteínas (leche en polvo, levadura de cerveza y proteína hidrolizada) y sus combinaciones, con lo que se obtuvieron 15 tratamientos (Cuadro

1). También se incluyó un testigo que sólo dispuso de agua. Como fuente de fructosa se utilizó jarabe de maíz de alta fructosa (Miel Karo ®); la sacarosa fue azúcar refinada comercial, la melaza del producto comercial “Azúcar mascabado Zulka ®”. Como fuente de proteína se usó levadura de cerveza en polvo (Royal ®), proteína hidrolizada Captor 300, y leche en polvo “Nido ®”. Las concentraciones de los tratamientos se estimaron de acuerdo a las concentraciones de carbohidratos y proteínas presentes en las mielecillas de algunos áfidos como *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Aphididae), (Lamb, 1956; Van Neerbos *et al.*, 2020), mielecillas que pudieran ser alimento natural de diversos depredadores y parasitoides.

Los tratamientos se ofrecieron a los parasitoides en una torunda de algodón ( $\varnothing = 1$  cm) saturada con 1 ml de solución de cada tratamiento. La torunda de cada tratamiento se colocó sobre la tela de la tapa de los viales correspondientes. Todos los ensayos se mantuvieron en una cámara bioclimática a  $25 \pm 3$  °C,  $70 \pm 10\%$  HR y fotoperiodo de 12 h luz y 12 h de oscuridad. Diariamente se registró el número de parasitoides vivos hasta que el último ejemplar de cada tratamiento murió. Se realizaron 16 repeticiones por tratamiento. Los efectos de los tratamientos sobre la longevidad de los parasitoides se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ) mediante el software STATISTICA 7.

Cuadro 1. Tratamientos de carbohidratos, proteínas o la mezcla de éstos, para evaluar longevidad de *Diadegma insulare* en condiciones de laboratorio. Cualquier suplemento se disolvió en 100 ml de agua para tener una solución de 5% de carbohidratos y/o 1% de proteína.

Clave	Tratamiento	Cantidad del producto comercial
Sac	Azúcar	5.56 g
Sac/Lp	Azúcar + leche en polvo	5.56 g + 0.49 g
Sac/Lv	Azúcar + levadura de cerveza	5.56 g + 0.83 g
Sac/Ph	Azúcar + proteína hidrolizada	5.56 g + 1 ml
Mel	Melaza	5.56 g
Mel/Lp	Melaza + leche en polvo	5.56 g + 0.49 g
Mel/Lv	Melaza + levadura de cerveza	5.56 g + 0.83 g
Mel/Ph	Melaza + proteína hidrolizada	5.56 g + 1 ml
Fruc	Jarabe de fructosa	6.25 ml
Fruc/Lp	Jarabe de fructosa + leche en polvo	6.25 ml + 0.49 g
Fruc/Lv	Jarabe de fructosa + levadura de cerveza	6.25 ml + 0.83 g
Fruc/Ph	Jarabe de fructosa + proteína hidrolizada	6.25 ml + 1 ml
Lp	Leche en polvo	0.49 g
Lev	Levadura de cerveza	0.83 g
Ph	Proteína hidrolizada	1ml
Ag	Agua (testigo)	

### Recursos florales o fructosa en cultivos de brócoli

La fuente de carbohidratos que proporcionó los mejores resultados en longevidad de *D. insulare* en laboratorio se empleó en el experimento de campo (fructosa), y se comparó con la presencia de plantas con flores y un testigo regional. El ensayo de campo se desarrolló en el rancho "Los Aguilares" (20°34'30.87" N 101°04'30.89" W), Salamanca, Guanajuato, en una superficie de 24 hectáreas. En el predio se establecieron cinco tratamientos cada uno de 4 ha. Los tres primeros considerando solo el efecto de un factor (aplicación de fructosa, presencia de plantas de alyssum

y liberación de parasitoides) y los dos restantes considerando las combinaciones con liberación de parasitoides (aplicación de fructosa y liberación de parasitoides, y plantas de alyssum y liberación de parasitoides); adicionalmente se tuvo un testigo regional.

Para los tratamientos donde se liberaron parasitoides (adultos de *D. insulare*  $\leq$  72 h de edad), se realizaron tres liberaciones de manera homogénea a una dosis de 800 individuos/ha, con intervalos de 15 días entre cada liberación. La primera liberación se realizó 30 días después del trasplante, que es el periodo aproximado de protección que se ha señalado como resultados de tratamiento de las plántulas con insecticidas sistémico, antes de llevarlas a campo.

Para los tratamientos con aplicación de fructosa se realizaron aspersiones semanales de una solución de fructosa al 5% sobre el 10% de las plantas, aproximadamente se utilizaron 20 litros de la mezcla por hectárea. La aspersión se realizó de manera mecanizada con un tanque montado al tractor.

En los predios con presencia de plantas de alyssum se utilizaron plantas de 30 días aproximadamente. Éstas ya tenían flores al momento del trasplante. Estas plantas fueron establecidas en el campo de cultivo el mismo día del trasplante del brócoli. Se colocaron 1,000 plantas por hectárea. En un surco se colocó una planta de alyssum (intercalada entre plantas de brócoli) cada tres metros, esto se repitió cada diez surcos. En cada uno de los surcos intermedios se colocó una planta de alyssum cada 10 metros; de esta manera se formó una cuadrícula, procurando con esto que las estaciones de alimentación para los parasitoides estuvieran lo más cerca

posible. Las plántulas de *alyssum* las proporcionó la empresa Grupo U, de Guanajuato, dueña de los campos donde se estableció el experimento.

Los muestreos en campo se realizaron de manera semanal, de cada tratamiento (4 ha) se recolectaron muestras en “cinco de oros”, se demostró que cada uno de estos puntos (aproximadamente 100 m<sup>2</sup>) proporcionó muestras independientes. En cada punto se examinaron 10 plantas al azar (50 plantas por tratamiento). Se contabilizó el número de plantas con daño reciente de larvas de *P. xylostella*. Así mismo, en cada planta se contó, por muestreo destructivo, el número de larvas pequeñas, medianas y grandes. Adicionalmente se colectaron al menos 10 larvas grandes y/o pupas de *P. xylostella* por cada uno de los cinco puntos de muestreo, estas muestras se colocaron en cajas Petri con un disco de hoja de brócoli, la cual era reemplazada cada dos días hasta lograr que completaran su desarrollo los parasitoides o su hospedero. Los especímenes emergidos se separaron e identificaron utilizando un estereomicroscopio.

El porcentaje de parasitismo se calculó considerando el número de parasitoides emergidos, en relación a la cantidad de organismos emergidos (parasitoides más palomillas). El porcentaje de daño y de presencia de larvas se calculó con el número de plantas dañadas y por la cantidad de larvas presentes en cada punto. Para evaluar el efecto del tratamiento sobre el daño en plantas, número de larvas de cada estadio y porcentaje de larvas o pupas parasitadas se realizó un ANOVA con el paquete STATISTICA 7; posteriormente, en caso de detectar diferencias entre tratamientos se realizaron pruebas de separación de medias mediante el método de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

## 1.4 RESULTADOS

### **Suplementos alimenticios en laboratorio e impacto en la longevidad de *Diadegma insulare***

La disponibilidad de un suplemento alimenticio afectó la longevidad de adultos de *D. insulare* de manera significativa ( $F_{15, 352} = 19.95$ ,  $P \leq 0.0001$ ). De manera general, la longevidad fue mayor cuando los parasitoides dispusieron de una fuente de carbohidratos al compararse con una fuente de proteínas (Fig. 1), la diferencia fue alrededor de 10 días y altamente significativa ( $F_{5, 132} = 38.23$ ,  $P \leq 0.0001$ ). De hecho, la longevidad del parasitoide con una fuente de proteína no fue diferente del testigo y no superó los 2.5 días ( $F_{3, 88} = 1.19$ ,  $P = 0.31$ ) (Fig. 1). La mezcla de carbohidratos y proteínas incrementaron la longevidad al compararse con el testigo, en promedio los parasitoides de estos tratamientos alcanzaron 10.3 días, con ligera variación entre ellos (Fig. 1).

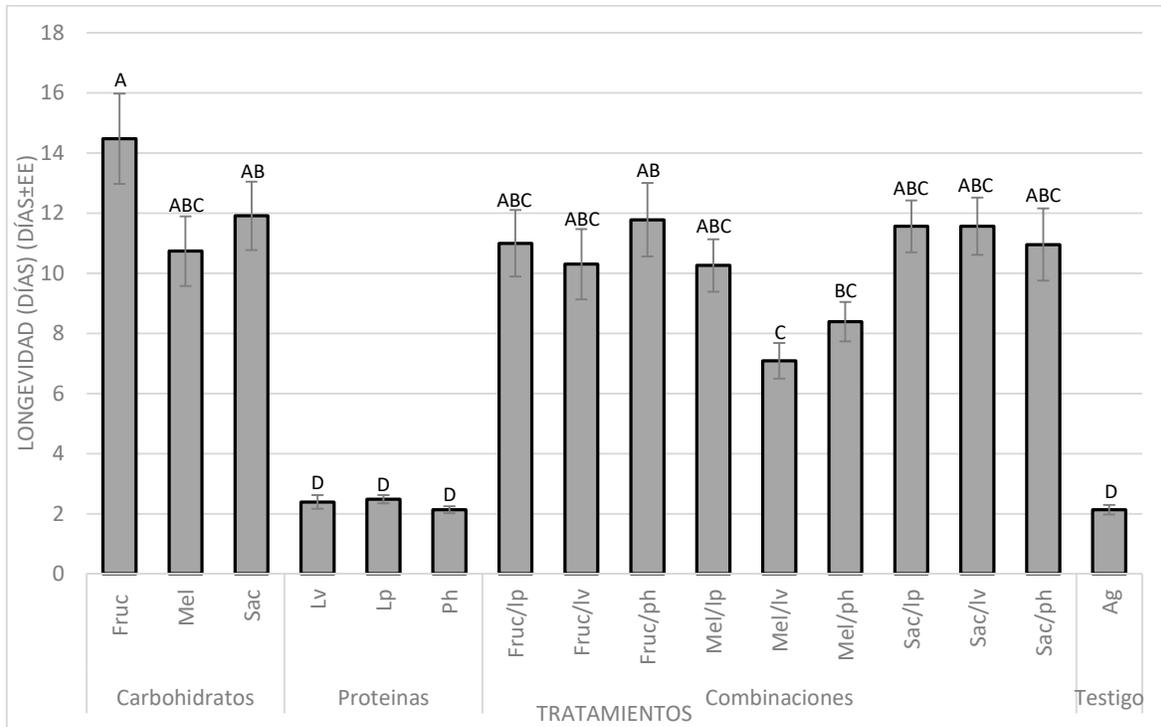


Figura 1. Longevidad promedio en días (Media + EE) de adultos de *Diadegma insulare* alimentados con diferentes tipos de proteínas, carbohidratos o su combinación

### Recursos florales o fructosa en cultivos de brócoli

El promedio de número de larvas de tercer y cuarto instar fue similar por fecha de muestreo, nunca superando las 3 larvas por punto de muestreo, no se encontraron diferencias entre los tratamientos a una significancia del 5% (Cuadro 2).

El porcentaje de daño fue diferente en dos fechas de muestreo, el daño en el tratamiento parasitoides/fructosa ( $0.8 \pm 0.8$ ) fue inferior al testigo; sin embargo, los tratamientos que tuvieron un menor daño en una fecha distinta fueron alyssum y testigo regional ambos con 0 (Cuadro 2). En el resto de tratamientos no existió un efecto significativo.

Antes de la primera liberación de parasitoides se detectaron niveles de parasitismo estadísticamente diferentes en al menos dos tratamientos ( $F_{5,24} = 3.25$ ,  $P = 0.02$ ).

En el testigo regional se registró 42% y en el lote donde se aplicaría solo la fructosa se registró 82%. El porcentaje de parasitismo fue variable por fecha de muestreo, y se encontraron diferencias entre tratamientos en cinco fechas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de los suplementos alimenticios en el porcentaje de parasitismo, porcentaje de daño en plantas y número de larvas de tercer y cuarto instar.

PROMEDIO DE LARVAS							
FECHAS TRATAMIENTOS	17-oct-19	24-oct-19	31-oct-19	06-nov-19	14-nov-19	21-nov-19	28-nov-19
Parasitoides	0.4 ± 0.2	1.2 ± 0.4	0.4 ± 0.2	2.2 ± 1.1	1.2 ± 0.4	0.4 ± 0.2	0.4 ± 0.2
Fructosa	1.0 ± 0.4	1.4 ± 0.6	1.0 ± 0.4	1.4 ± 0.7	1.8 ± 0.5	1.0 ± 0.5	1.0 ± 0.5
Alyssum	2.2 ± 0.7	0.6 ± 0.4	2.2 ± 0.7	1.0 ± 0.4	2.4 ± 0.7	2.2 ± 0.7	2.0 ± 0.8
Parasitoides/fructosa	0.6 ± 0.2	1.2 ± 0.5	0.6 ± 0.2	2.0 ± 0.5	2.6 ± 1.1	0.6 ± 0.2	0.6 ± 0.2
Parasitoides/alyssum	1.2 ± 0.4	0.8 ± 0.5	1.2 ± 0.4	2.8 ± 2.3	2.6 ± 0.8	1.2 ± 0.5	1.2 ± 0.5
Testigo regional	0.8 ± 0.3	1.0 ± 0.5	0.8 ± 0.3	1.8 ± 0.9	1.2 ± 0.5	1.0 ± 0.5	0.6 ± 0.4
	P= 0.120	P= 0.918	P= 0.120	P= 0.918	P= 0.562	P= 0.146	P= 0.209

PORCENTAJE DE DAÑO PROMEDIO							
FECHAS TRATAMIENTOS	17-oct-19	24-oct-19	31-oct-19	06-nov-19	14-nov-19	21-nov-19	28-nov-19
Parasitoides	8.8 ± 1.9	4.8 ± 1.5 AB	8.8 ± 1.9	8.0 ± 2.1	2.4 ± 0.9	6.4 ± 2.0	1.6 ± 0.9 AB
Fructosa	4.8 ± 1.9	2.4 ± 0.9 AB	4.8 ± 1.9	4.0 ± 1.8	4.0 ± 1.2	6.4 ± 1.6	0.8 ± 0.8 AB
Alyssum	8.8 ± 1.4	2.4 ± 0.9 AB	8.8 ± 1.4	8.0 ± 2.1	4.0 ± 1.7	5.6 ± 2.0	0 ± 0 A
Parasitoides/fructosa	4.8 ± 1.9	0.8 ± 0.8 A	4.8 ± 1.9	0.8 ± 0.8	4.0 ± 1.2	4.8 ± 1.9	5.6 ± 2.7 BC
Parasitoides/alyssum	4.8 ± 1.9	8.0 ± 1.7 B	4.8 ± 1.9	5.6 ± 2.0	0.8 ± 0.8	7.2 ± 2.3	8.0 ± 0 C
Testigo regional	10.4 ± 6.0	4.0 ± 1.7 AB	10.4 ± 2.7	4.0 ± 1.7	3.2 ± 1.9	9.6 ± 2.7	0 ± 0 A
	P= 0.208	P= 0.018*	P= 0.208	P= 0.088	P= 0.539	P= 0.703	P= 0.0001*

PORCENTAJE DE PARASITISMO PROMEDIO							
FECHAS TRATAMIENTOS	17-oct-19	24-oct-19	31-oct-19	06-nov-19	14-nov-19	21-nov-19	28-nov-19
Parasitoides	62.0 ± 5.8 AB	82.0 ± 2.0 A	62.0 ± 5.8 AB	6.0 ± 2.4 B	12.0 ± 3.7 B	22.0 ± 10.2	44.0 ± 12.9
Fructosa	82.0 ± 7.3 A	72.0 ± 3.7 AB	82.0 ± 7.3 A	34.0 ± 6.8 A	30.0 ± 3.2 A	28.0 ± 5.8	18.0 ± 13.6
Alyssum	50.0 ± 8.4 AB	76.0 ± 4.0 AB	50.0 ± 8.4 AB	20.0 ± 5.5 AB	12.0 ± 3.7 B	32.0 ± 3.7	18.0 ± 3.7
Parasitoides/fructosa	74.0 ± 5.1 AB	72.0 ± 3.7 AB	74.0 ± 5.1 AB	22.0 ± 4.9 AB	28.0 ± 5.8 AB	14.0 ± 5.1	50.0 ± 17.0
Parasitoides/alyssum	68.0 ± 3.7 AB	64.0 ± 5.0 B	68.0 ± 3.7 AB	20.0 ± 5.5 AB	18.0 ± 3.7 AB	32.0 ± 10.7	38.0 ± 9.7
Testigo regional	42.0 ± 14.6 B	70 ± 3.1 AB	42.0 ± 14.6 B	22.0 ± 5.8 AB	20.0 ± 3.2 AB	38.0 ± 8.0	10.0 ± 7.7
	P= 0.021*	P= 0.032*	P= 0.021*	P= 0.039*	P= 0.012*	P= 0.32	P= 0.11

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes entre sí. \* Sólo se incluyó la separación de medias en las fechas donde se presentaron diferencias significativas entre tratamientos con una  $P \leq 0.05$ .

## 1.5 DISCUSIÓN

### **Suplementos alimenticios en laboratorio e impacto en la longevidad de *Diadegma insulare***

Las soluciones de carbohidratos, especialmente fructosa y sacarosa, incrementaron la longevidad de *D. insulare*, los adultos vivieron al menos cinco veces más que cuando solo se les proporcionó agua. Resultados similares fueron reportados por Wäckers (2001) quien mencionó que la fructosa, sacarosa y glucosa son los azúcares que favorecieron mayor longevidad (> 30 días) en el parasitoide *Cotesia glomerata* (L.) (Hymenoptera: Braconidae); en ese ensayo se compararon soluciones acuosas de 14 azúcares diferentes. Bacca *et al.* (2012) reportaron una situación similar para el parasitoide *Prorops nasuta* Waterston, 1923 (Hymenoptera: Bethylinidae), la longevidad de este parasitoide se incrementó (> 30 días) cuando tuvo disposición de fructosa, maltosa y miel de abeja. Nuestros resultados concuerdan con los datos proporcionados de Lee *et al.* (2004), estos autores mencionaron que el parasitoide *D. insulare* emerge con altos niveles de lípidos y glucógeno, y bajos niveles de azúcares. Por lo tanto, los resultados sugieren que la incorporación de fructosa a su dieta en estado adulto evitó la inanición e incrementó su longevidad.

Por otro lado, la longevidad de los adultos de *D. insulare* alimentados con cualquiera de las proteínas solas no fue superior a la encontrada en adultos a los cuales se les ofreció solo agua (< 3 días). Bacca *et al.* (2012) ya habían reportado que una solución con proteína en *P. nasuta* no le ofrecieron una ventaja, en comparación con las dietas ricas en carbohidratos. Por otro lado, McDougall y Mills (1997),

experimentando con el parasitoide *Trichogramma platneri* Nagarkatti, 1975 (Hymenoptera: Trichogrammatidae), reportaron que proteínas derivadas de la levadura tampoco tuvieron un efecto respecto a la alimentación con agua. Esto puede deberse a que la proteína por sí sola no tiene algún efecto fisiológico en parasitoides adultos; contrario a los carbohidratos, como la fructosa, que se utilizan para la producción de energía y se almacenan como glucógeno en el cuerpo graso o como trehalosa en la hemolinfa (Rivero y Casas, 1999). Estas fuentes de energía (carbohidratos) a su vez ayudan a la maduración de huevos en especies sinovigénicas (Olson y Andow, 1998) como *D. insulare*, y también evitan la reabsorción de huevos (Heimpel y Rosenheim, 1998).

Finalmente, la longevidad de los parasitoides alimentados con la mezcla de carbohidratos y proteínas en ninguno de los casos superó lo obtenido con fructosa o sacarosa, tratamientos que proporcionaron los mejores resultados. En algunos casos se observó una tendencia a la disminución en longevidad por la mezcla, pero no llegó a ser significativa (Fig. 1). Según Van Neerbos *et al.* (2020), la composición de las mezclas de azúcares y proteínas de las que se alimentan algunos parasitoides tiene un efecto en su longevidad y en algunos casos ésta se reduce.

En los agroecosistemas de brasicáceas, donde *D. insulare* tiene acceso a fuentes de carbohidratos como los exudados ricos en azúcares de algunos áfidos, o bien de plantas con néctar, se favorece el incremento y su permanencia en el cultivo (Ochoa *et al.*, 1989), con lo cual se pudiera incrementar el grado de control que ejerce sobre la palomilla dorso de diamante (Idris y Grafius, 1995). Sin embargo, en los monocultivos de crucíferas, donde se favorece el crecimiento de plantas de la misma edad para facilitar su producción, la aplicación de sustancias azucaradas

podiera sustituir la carencia de estos compuestos en campos de cultivo donde la presencia de plantas con flores es escasa o está restringida a un periodo corto de tiempo (Mensah y Singleton, 2003).

La identificación y aplicación de azúcares como la fructosa y sacarosa, así como otros compuestos que sirven como alimentos alternativos para *D. insulare*, son importantes para el entendimiento de la ecología nutricional de este insecto, así como una medida de bajo costo y fácil acceso que podrían tener implicaciones directas en programas de control biológico por conservación (Wade *et al.*, 2008).

### **Recursos florales o fructosa en cultivos de brócoli**

La presencia de suplementos alimenticios como la fructosa tuvo un efecto significativo sobre el parasitismo de *D. insulare* en dos fechas de muestreo (alrededor de 80% de parasitismo), donde se superó el parasitismo con respecto al testigo regional (alrededor de 42%). El parasitismo en fructosa también superó en dos fechas de muestreo (alrededor de 32%) en relación a los lotes donde solo se liberaron parasitoides (6-12%). Con este trabajo de campo se proporcionan evidencias de tendencias que distintos autores han mencionado. Por ejemplo, con la presencia de fuentes de alimento ricos en carbohidratos se favorece la permanencia del parasitoide en el lugar y a su vez se ven beneficiados aspectos como la longevidad, fecundidad y fertilidad de parasitoides, aunque la presa este en bajas densidades (Idris y Grafius, 1995; Gourdine *et al.*, 2003; Olson *et al.*, 2005 Wade *et al.*, 2008).

Respecto a la presencia de larvas hubo mayor número en alyssum o parasitoides + alyssum. No obstante, esa tendencia no se registró como diferente en ninguna fecha de muestreo (Cuadro 2). Esta tendencia, aunque no significativa, debe recibir atención en otros trabajos de campo porque alyssum y el brócoli son de la misma familia botánica (Brassicaceae). Por ello *P. xylostella* se puede reproducir en ella, o bien los adultos pueden alimentarse de las inflorescencias lo que podría aumentar su potencial reproductivo (Winkler *et al.*, 2010). El alyssum se ha utilizado como fuente de néctar en diversos programas de control biológico por conservación (Landis *et al.*, 2000), incluyendo a la *P. xylostella* y a su parasitoide *D. insulare* (Johanowicz y Mitchell, 2000; Lavandero *et al.*, 2005), y comercialmente en producción orgánica de lechugas para el combate de áfidos en California (Brennan, 2013). Es importante mencionar que además de ser una fuente rica en néctar y polen, también funciona como refugio para los adultos de diversos depredadores y parasitoides, por lo que incrementa la presencia en campo de estos y, en algunos casos, los niveles de control natural de plagas (Idris y Grafius, 1995).

En el caso de daño de *P. xylostella* sobre plantas no se observó diferencias significativas entre tratamientos, ninguno superó el 11% (Cuadro 2). Esto sugiere que durante el periodo de estudio se presentó baja presión de la población plaga.

*Diadegma insulare* se considera un buen agente de control biológico para el control de *P. xylostella*. No obstante, aparentemente las liberaciones inundativas no fueron el mejor tratamiento en el experimento de campo. Ello sugiere que se requiere de una acción combinada de liberaciones inundativas y del suministro de fuentes de alimento para favorecer la acción y permanencia de los adultos de estos parasitoides. Especialmente en un cultivo como brócoli donde los umbrales de

acción son muy bajos, 0.5 y 0.2 insecto por planta (Bujanos *et al.*, 2013). Si bien el estudio se llevó a cabo en una época de menor incidencia en las poblaciones de *P. xylostella*, se pudiera sugerir que la inclusión de plantas con flores y aspersiones de fructosa pueden favorecer la presencia de agentes de control biológico y se debe seguir experimentando para lograr la proporción adecuada en campo, ya que es necesaria la presencia de alguna fuente de carbohidratos para incrementar la biología reproductiva, y para fomentar la búsqueda de presas por parte de los parasitoides (Jervis *et al.*, 1993; Olson *et al.*, 2005; Wade *et al.*, 2008).

## CAPÍTULO II. EFECTO DE SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS Y RECURSOS FLORALES EN LA BIOLOGÍA DE *Plutella xylostella* y *Diadegma insulare*

### 2.1 RESUMEN

Muchos parasitoides y sus hospederos comparten fuentes de alimento en el agroecosistema, incluyendo las que ofrecen las plantas con flores. En ocasiones los nutrientes presentes en estas plantas benefician al enemigo natural lo que enriquece su potencial como agente de control biológico, pero también pueden favorecer la capacidad reproductiva y sobrevivencia de algunas plagas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar a nivel de laboratorio el efecto de plantas con flores (*Lobularia maritima*) y de una solución de carbohidratos sobre la longevidad y fecundidad en adultos de *Plutella xylostella* y de su parasitoide *Diadegma insulare*. La sobrevivencia de adultos de *D. insulare* fue similar cuando fueron alimentados con fructosa al 5% (4.6 d) y con plantas de *L. maritima* en floración (3.4 d), pero fue menor a dos días cuando solo se le proporcionó agua. Por otro lado, *P. xylostella* sobrevivió más días cuando fue alimentada con la solución de fructosa (16.9 d) que cuando fue alimentada con *L. maritima* (6.6 d) y solo agua (4.7 d). *Diadegma insulare* no presentó diferencias entre los tratamientos para fecundidad; sin embargo, *P. xylostella* tuvo un mayor número de huevos cuando fue alimentada con fructosa (81.7 huevos por hembra) en comparación con los otros tratamientos. Se discuten los beneficios de la implementación de los recursos alimenticios en un programa de manejo integrado de plagas.

Palabras clave: Brócoli, *Lobularia maritima*, control biológico por conservación.

## 2.2 INTRODUCCIÓN

La expresión del potencial biótico de los insectos depende directamente del cumplimiento de sus requerimientos nutricionales (Barbehenn *et al.*, 1999). Aunque algunos parasitoides obtienen un gran porcentaje de sus requerimientos alimenticios en etapa larval, muchos otros emergen con una cantidad limitada de energía, por lo que necesitan fuentes de azúcar para satisfacer este déficit (Jervis *et al.*, 1996; Wäckers, 2001; Wanner *et al.*, 2006).

En trabajos con himenópteros se ha demostrado que una dieta rica en carbohidratos es la principal fuente de energía para muchos parasitoides y sus presas durante su etapa adulta (Wäckers, 2004; Winkler *et al.*, 2005). Adicionalmente, las plantas con flores asociadas a los cultivos, o a la orilla de estos, son una fuente accesible de carbohidratos. Así, esas plantas y fuentes de carbohidratos son recomendadas para satisfacer aspectos biológicos de muchos parasitoides, ya que al alimentarse del néctar de flores se incrementa directamente la longevidad, fecundidad y parasitismo (Gourdine *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2004; Lee y Heimpel, 2008; Tunçbilek *et al.*, 2012). Por ejemplo, existen estudios que demuestran que los parasitoides alimentados con néctar en laboratorio pueden aumentar su longevidad hasta 20 veces (Jervis *et al.*, 1996; Fadamiro y Heimpel, 2001; Wäckers, 2001). Lo anterior puede también ser aplicable a *Diadegma insulare* (Cresson, 1865) (Hymenoptera: Ichneumonidae), un parasitoide koinobionte, sinovigénico (Munir *et al.*, 2018) de larva-pupa de la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae), una plaga destructiva de cultivos de brasicáceas. (Sarfraz *et al.*, 2005; Lee y Heimpel, 2008). Aunque se desconoce con exactitud cuál es la principal fuente

de energía (polen o mielecillas de otros insectos) de *D. insulare* en campo, existe certeza que como adulto se ve beneficiado cuando se alimenta de fuentes ricas en carbohidratos (Idris *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2004).

Se ha demostrado que la alimentación de *D. insulare* con néctar floral de algunas especies de brasicáceas, como *Lobularia maritima* (Linnaeus, 1753) y de otras plantas como *Fagopyrum esculentum* (Moench, 1794) (Polygonaceae), así como mielecillas de insectos como *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Aphididae) aumentan considerablemente su esperanza de vida en campo y en laboratorio (Idris y Grafius, 1995, 1996 Johanowicz y Mitchell, 2000; Gourdine *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2004).

En la naturaleza la mayoría de lepidópteros y sus parasitoides comparten recursos florales; sin embargo, algunas plantas presentan adaptaciones para que el insecto se alimente ya sea por modificaciones morfológicas o fisiológicas, comportamiento, arquitectura floral, composición del néctar, etc. (Idris y Grafius, 1995; Baggen *et al.*, 1999, Wäckers, 2004; Winkler, 2005, Kehrli y Bacher, 2008).

Para entender la importancia de los suplementos alimenticios y los recursos florales en el control biológico por conservación, en este trabajo se cuantificó el efecto de flores de alysuum (*L. maritima*), así como de una solución de fructosa al 5% en la longevidad, fecundidad y parasitismo en adultos de *P. xylostella* y *D. insulare*.

## 2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Control Biológico del Colegio de Posgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. Todos los experimentos se mantuvieron en una cámara bioclimática a  $25 \pm 3$  °C,  $70 \pm 10\%$  HR y fotoperiodo de 12 h luz y 12 h de oscuridad.

### Insectos y plantas

Los ejemplares de *D. insulare* se adquirieron, en etapa de pupa, con la empresa “Rancho Medio Kilo” de Aguascalientes, México. Las pupas se colocaron en una caja Petri ( $\varnothing = 10$  cm) dentro de un recipiente plástico (26 x 13 x 13 cm) con un orificio lateral (13 x 7cm), cubierto con tela de organza, para favorecer ventilación. Los ejemplares de *P. xylostella* se colectaron en una plantación de brócoli, en el municipio de Abasolo, Guanajuato, posteriormente fueron llevados al laboratorio para mantener una cría. El incremento de las poblaciones de *P. xylostella* se realizó en recipientes de plástico como los señalados para mantener a los parasitoides. Dentro de los recipientes se colocaron, como substrato de oviposición, hojas de brócoli de cuatro semanas. Las larvas se alimentaron con hojas de brócoli y se mantuvieron en una cámara bioclimática en las condiciones antes descritas. Las hojas de brócoli se obtenían de plantas cultivadas en invernadero sin aplicaciones de insecticidas. Para los experimentos se utilizaron adultos de ambas especies de insectos (hembra y macho)  $\leq 24$  h de edad, y para los experimentos donde se evaluaba el parasitismo, como una medida indirecta de fecundidad, se utilizaron larvas de tercer y cuarto instar de *P. xylostella*.

Para obtener las plantas de alyssum (*L. maritima*) se utilizó semilla comercial de la marca “Hydro environment S.A de C.V.”. Las semillas se germinaron utilizando como sustrato una mezcla de peat moss con tezontle en una proporción de 1:2, y se mantuvieron en este sustrato antes de su trasplante. Las plantas se trasplantaron en macetas de 3 l, donde se mantuvieron alrededor de 4 semanas en invernadero, y se fertilizaron a base del producto Ultrasol multipropósito (NPK 18-18-18).

### **Tratamientos y conducción del experimento**

Para los experimentos se consideraron dos fuentes de alimento, fructosa al 5% y plantas con flores. Se utilizó como suplemento alimenticio una solución de jarabe de maíz de alta fructosa (Miel Karo ®), la cual fue diluida en agua para obtener una solución de fructosa al 5%. Como recurso floral se utilizaron inflorescencias de alyssum (*L. maritima*) de 4 semanas después del trasplante. Como tratamiento testigo se utilizó agua potable.

Se seleccionó una pareja de *D. insulare* ( $\leq 24$  h de edad), la cual se colocó en una arena experimental que consistió en un recipiente plástico hexagonal de 10 litros de capacidad. Este recipiente tenía una abertura (20 x 20 cm) cubierta con tela de organza para permitir la ventilación. Dentro de la arena experimental se colocaron tres frascos de vidrio ( $\varnothing = 30$  ml), en el primero se colocó una hoja fresca de brócoli, en otro una mecha de algodón con agua y en el tercero el suplemento alimenticio (fructosa). En este tercer frasco había una mecha de algodón para que el insecto tuviera acceso a la solución de fructosa o bien, si fuera el caso, a las inflorescencias de alyssum (recurso floral), que se insertaban en ese tercer frasco que contenía agua. Para el caso del testigo solo se colocaron dos frascos; uno con la hoja de

brócoli y el segundo con agua. Se realizaron 12 repeticiones por tratamiento. Dentro de estas arenas se ofrecieron diariamente, a cada pareja de parasitoides, 30 larvas de tercero o cuarto instar de *P. xylostella* sobre una caja Petri ( $\varnothing = 10$  cm) que tenía un disco de hoja de brócoli en su base interna. Cuando se cumplieron las 24 h de exposición se retiraron esas larvas, y se incluyó una nueva caja de Petri con 30 larvas. Las larvas que se retiraban cada 24 h se alimentaron con hojas inmaduras de brócoli hasta que se formó la pupa, se realizaron observaciones cada 24 h hasta determinar si estas estaban parasitadas o no.

Para medir la fecundidad de los adultos de *P. xylostella* el experimento se llevó en las mismas arenas experimentales, y usando los mismos tratamientos mencionados para *D. insulare*. Para determinar la fecundidad diaria de *P. xylostella*, de cada arena experimental se retiraba el frasco con la hoja de brócoli diariamente y se renovaba con otra hoja. En las hojas retiradas se contabilizó y registró el número de huevos por hoja. Este proceso se repitió hasta la muerte de la hembra.

Para evaluar la longevidad se observó diariamente a las hembras de *D. insulare* o *P. xylostella*, en cada arena experimental, y se registró el día que murió el último ejemplar de cada tratamiento.

### **Análisis estadístico**

Para observar si había algún efecto entre los tratamientos se contabilizó el número de días para medir longevidad en ambas especies de insectos, para medir fecundidad de *D. insulare* se contabilizó el número de larvas expuestas, y el número total de pupas parasitadas. Para el caso de *P. xylostella* se contabilizó el número de

huevos totales, estos valores se sometieron a un análisis de varianza usando el software STATISTICA 7; posteriormente de existir diferencias significativas se realizaron pruebas de separación de medias (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

## 2.4 RESULTADOS

### Longevidad de *Diadegma insulare* y *Plutella xylostella*

La longevidad de *D. insulare* fue afectada significativamente por el tipo de alimento que consumió ( $F_{2,45} = 8.65$ ,  $P \leq 0.0001$ ); fue menor ( $1.75 \pm 0.19$  días) cuando se alimentó solo de agua (testigo) y mayor ( $4.56 \pm 0.70$  días) cuando se alimentó de alta fructosa (Fig. 2). Los tratamientos con recursos florales (alyssum) y fructosa tuvieron un efecto similar en la longevidad de *D. insulare*. En el caso de *P. xylostella*, también hubo diferencias significativas entre tratamientos ( $F_{2,45} = 43.20$ ,  $P \leq 0.0001$ ). La longevidad fue mayor cuando se alimentaron con la solución de fructosa ( $16.87 \pm 1.54$ ), mientras que los tratamientos de alyssum ( $6.62 \pm 0.56$ ) y el testigo ( $4.68 \pm 0.53$ ) tuvieron un efecto similar en la longevidad (Fig. 2).

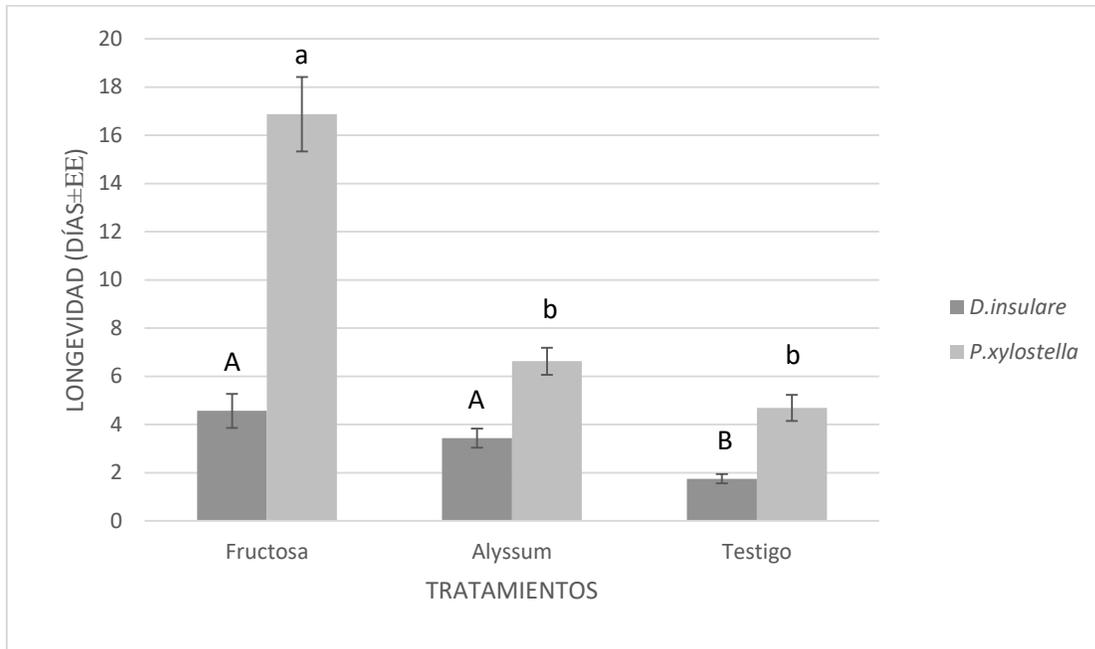


Figura 2. Comparación del promedio de longevidad (días) (Media + EE) de *Diadegma insulare* y *Plutella xylostella* en las dos fuentes de nutrientes (alyssum, fructosa) y el testigo (agua).

### Parasitismo como medida de fecundidad en *Diadegma insulare*

El número de larvas parasitadas por *D. insulare* no se afectó por efecto de la dieta del adulto del parasitoide ( $F_{2,45} = 0.31$ ,  $P = 0.73$ ). Así, la fructosa ( $7.87 \pm 4.42$ ) el alyssum ( $8.59 \pm 2.35$ ) y el testigo ( $4.90 \pm 3.72$ ) no presentaron diferencias significativas.

### Fecundidad de *Plutella xylostella*

La fecundidad de *Plutella xylostella* estuvo influenciada por el alimento que ingirieron las hembras, teniendo significancia en el número de huevos ovipositados ( $F_{2,45} = 11.27$ ,  $P \leq 0.0001$ ). El promedio de número de huevos por hembra fue menor ( $29.19 \pm 6.70$ ) cuando se alimentó solamente de agua, y fue mayor ( $81.69 \pm 7.52$ )

cuando se alimentó de la solución de fructosa. El tratamiento con alyssum ( $46.44 \pm 7.52$ ) no tuvo diferencias con el testigo, pero si con la fructosa.

## 2.5 DISCUSIÓN

*Plutella xylostella* y el parasitoide *D. insulare* incrementaron su longevidad y fecundidad cuando se alimentaron con alguna fuente de carbohidrato (fructosa o alyssum), comparado cuando solo se les ofreció agua. Estos resultados refuerzan lo comentado por otros autores, que señalaron que la alimentación con azúcares es importante en la dieta de los parasitoides y otros insectos en su etapa adulta (Idris y Grafius, 1995, 1996; Gourdine *et al.*, 2003; Winkler, 2005; Kehrlí y Bacher, 2008).

En relación a la longevidad de *D. insulare* fue variable, en estudios como el de Johanowicz y Mitchell (2000) el promedio de días cuando se le ofreció la inflorescencia de alyssum, o una mezcla de miel al 10%, fue de 27 días. En otro estudio (Munir *et al.*, 2018) se determinó que al alimentar al parasitoide con néctar de alyssum sobrevivió 25 días, con miel al 10% 10 días, y con agua 2.8 días. Otros autores como Carrillo *et al.*, (2006) experimentaron con néctar de *Borrago officinalis* (Linnaeus, 1753) (Boraginaceae); estos autores obtuvieron longevidades más altas de *D. insulare* con ese néctar (38.4 días) que con miel al (10% 9.6 días). Sin embargo, el trabajo de Gourdine *et al.*, (2003) reportó datos diferentes a los ya mencionados y más cercanos a nuestra investigación. Esos autores mencionaron que en condiciones de laboratorio obtuvieron 6.8 días de longevidad con miel al 10%, 2.6 días con miel al 1.25%, y 0.17 días con agua. Al mismo tiempo, también mencionaron que las soluciones menores al 10% de saturación de azúcares influyen directamente en aspectos de la biología del parasitoide, esto respalda también los

bajos índices de parasitismo del presente trabajo; en ese mismo trabajo mencionaron que se logró una tasa de parasitismo menor al 10% con soluciones poco saturadas de azúcar.

Para el caso de *P. xylostella* los datos más recientes son los de Munir *et al.*, (2018); se tiene mayor cercanía en los valores de longevidad exceptuando los del *alyssum* ya que en este estudio el insecto plaga vivió en promedio 15 días. Estos resultados sugieren que ambas especies de insectos no tuvieron el mismo acceso al néctar de las flores, ya que tienen diferente morfología y probablemente capacidad para aprovechar todo el néctar de flores diferentes (Idris y Grafius, 1996; Wäckers, 2004; Vattala *et al.*, 2006). Los adultos de *P. xylostella* poseen una probóscide larga en relación a su cuerpo, lo que les facilita el acceso a los néctares (Proctor y Yeo, 1973), en contraste, los parasitoides tienen mandíbulas, lo que puede considerarse un aparato bucal menos especializado para esta tarea, lo que hace suponer que puede haber flores u otra fuente de carbohidratos que puedan ser más accesibles a ese tipo de aparato bucal (Wäckers, 2004),

Un aspecto importante por el cual se pudo dar el contraste de datos es por el origen de la cría de los insectos, si bien proviene de un laboratorio certificado para la venta de organismos benéficos, se desconoce la edad de la cría, así como su acervo genético, ya que los procesos de cría masiva en condiciones artificiales tienden a modificar las características biológicas del insecto y esto puede repercutir de manera negativa en supervivencia (Hernández, Aceituno-Medina, 2020). La cría masiva de insectos requiere que una colonia posea una alta variabilidad genética ya que la base genética de enemigos naturales puede verse reducida cuando una

colonia se cría por un tiempo prolongado en laboratorio (Huettel 1976; Hodek y Honek 1988). Por ejemplo, Tarango (1999) trabajó con la catarinita asiática, *Harmonia axyridis* (Pallas,1773), este autor reportó que después de 17 generaciones en cría de laboratorio se observó disminución en aspectos como: sobrevivencia, tamaño, forma, fecundidad, fertilidad y comportamiento. Con base en lo anterior, se puede sugerir que las diferencias en longevidad de adultos en comparación con los estudios ya mencionados pudieran deberse a factores como: el origen genético de las crías, así como la baja saturación de la solución de azúcar y el acceso al néctar de las plantas.

## DISCUSIÓN GENERAL

Existen estudios que han demostrado la importancia de fuentes de carbohidratos (recursos florales, así como los suplementos con bases de carbohidratos como la fructosa, la miel de abejas y otros azúcares) sobre aspectos de la biología de muchos enemigos naturales, particularmente parasitoides (Jervis y Kidd 1996; Wäckers *et al.* 2007). Incluir fuentes de carbohidratos, ya sea de forma natural o artificial, es esencial en el control biológico por conservación, ya que así se mejora la efectividad de los agentes de control biológico presentes en el agroecosistema (Gurr *et al.* 1998; Landis *et al.* 2000). Sin embargo, el conocimiento del efecto de las flores o los suplementos de carbohidratos en el sistema parasitoide / plaga no es abundante. En el presente trabajo se encontraron efectos significativos en la biología de *D. insulare* y *P. xylostella* en campo y laboratorio al ser alimentados con néctar de alyssum, o bien una solución de fructosa en comparación con agua. Sin embargo, también se registraron promedios bajos en longevidad de *D. insulare* respecto a otros autores. Por ejemplo, Bolter y Laing (1983) mencionaron que un adulto de este insecto puede vivir aproximadamente 26 días y ovipositar 814 huevos, de igual manera Edward y Grafius (1997) reportaron que, al alimentarse de una fuente rica en carbohidratos, la longevidad de este parasitoide se extendía a más de 20 días. No obstante, otros autores como Gourdine *et al.* (2003) mencionaron que en dietas con saturación menor al 10% de azúcar la longevidad tiende a ser baja. Esto podría ayudar a explicar lo que sucedió en este trabajo, pues se utilizaron soluciones al 5%, y pudiera ser la razón de porque los insectos tuvieron

un promedio de vida inferior al registrado en otros trabajos. Por ello, se recomienda en futuros estudios que las concentraciones mínimas de azúcares sean al 10%.

En campo *D. insulare* al estar cerca de fuentes de alimento (solución de fructosa y flores) tuvo niveles de parasitismo superiores al 50%, en al menos dos o tres fechas de muestreo, por lo que se puede considerar que una acción combinada de liberaciones masivas y del suministro de fuentes de alimento puede favorecer la acción y permanencia de los adultos de estos parasitoides, especialmente en cultivos de brócoli donde los umbrales de acción son muy bajos, 0.5 insecto por planta en la etapa vegetativa a 0.2 insecto por planta en la etapa de floración y cosecha (Bujanós *et al.*, 2013). La importancia y el potencial de la introducción de plantas con flor, en el mejoramiento del control biológico por conservación de *Plutella xylostella*, radica en las necesidades nutricionales de *D. insulare* y de su especie hospedera. Con esto se quiere decir que se debe hacer una elección cuidadosa sobre que plantas con flor pueden promover la existencia de estos enemigos naturales, y a su vez que no tengan efecto positivo en la plaga objetivo (Winkler, 2005). De igual manera se deben considerar aspectos como el comportamiento del insecto, la morfología de las partes bucales, acceso a las fuentes de carbohidratos, composición y concentración del tipo de alimento (Idris y Grafius 1995; Wäckers 2001; Carrillo *et al.* 2006; Kehrlí y Bacher 2008; Tunçbilek *et al.* 2012).

Dicho lo anterior es necesario que se continúen evaluaciones para determinar el efecto de otros azúcares y diferentes concentraciones, así como otras especies de plantas con flores en laboratorio y campo. Aun se requieren de estudios que

incluyan aspectos fisiológicos, morfológicos y genéticos que fomenten la capacidad de parasitismo de *D. insulare* en condiciones de campo.

## CONCLUSIONES

Un azúcar como la fructosa es de bajo costo y tuvo un efecto favorable y significativo en la biología de *Diadegma insulare*. Por otra parte, la aplicación de un suplemento alimenticio en las plantas de brócoli en campo (fructosa) fomentó el parasitismo en *Plutella xylostella* en algunas fechas de muestreo. Estos hallazgos enfatizan la importancia de seguir explorando diferentes tipos de azúcares presentes en las arvenses, así como los efectos de las plantas productoras de néctar para mejorar la efectividad de *D. insulare* en el manejo de *P. xylostella*. Finalmente, se sugiere que el uso del control biológico por conservación dentro del concepto de manejo integrado de plagas puede favorecer el establecimiento y aumento del parasitoide *D. insulare* en el agroecosistema.

## LITERATURA CITADA

- Ankersmit, G. W. (1953).** DDT-resistance in *Plutella maculipennis* (Curt.) (Lep.) in Java. *Bulletin of Entomological Research* 44:421-425.
- Bacca, T., J. C. López, y P. Benavides (2012).** Evaluación de suplementos alimenticios en adultos del parasitoide *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyridae). *Boletín Científico Museo de Historia Natural* 16:89-98.
- Badenes-Pérez, F. R. (2019).** Trap crops and insectary plants in the order Brassicales. *Annals of the Entomological Society of America* 112:318-329.
- Baggen, L. R., G. M. Gurr y A. Meats (1999).** Flowers in tri-trophic systems: mechanisms allowing selective exploitation by insect natural enemies for conservation biological control. In *Proceedings of the 10th International Symposium on Insect-Plant Relationships* (pp. 155-161). Springer, Dordrecht.
- Barbehenn, R. V., J. C. Reese y K. S. Hagen (1999).** The food of insects. In: HuVaker C.B., A.P. Gutierrez (eds) *Ecological entomology*, 2nd edn. Wiley, New York, pp 83–121.
- Bolter C. J., J. E. Laing. (1983).** Competition between *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) and *Microplitis plutellae* (Hymenoptera: Braconidae), for larvae of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Proceedings of Entomological Society of Ontario* 14:1-10.
- Brennan, E. B. (2013).** Agronomic aspects of strip intercropping lettuce with alyssum for biological control of aphids. *Biological Control* 65: 302-311.
- Bujanos, R., L. A. Marín Jarillo, F. Díaz Espino, A. J. Gámez Vázquez, M. A. Ávila Perches, R. Herrera Vega...P. Gámez Vázquez (2013).** Manejo integrado de la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* (L.) en la región del Bajío, México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico Núm. 27. 40 p.
- Carrillo, D., M. S. Serrano y E. Torrado-Leon (2006).** Effect of nectar producing on the reproduction of *Diadegma aff insulare* Cresson (Hymenoptera: Ichneumonidae), parasitoid of *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae). *Revista Colombiana de Entomología* 32:18-23.
- DeBach, P. (1964).** Biological control of insect pests and weeds. Chapman and Hall. London, U.K.
- Edward J, I. Grafius (1997).** Know your friends: *Diadegma insulare*, Parasite of Diamondback moth, Midwest Biological Control News Online. Vol. IV, No.1
- Fadamiro, H. Y., y G. E. Heimpel, (2001).** Effects of partial sugar deprivation on lifespan and carbohydrate mobilization in the parasitoid *Macrocentrus grandii* (Hymenoptera: Braconidae). *Annals of the Entomological Society of America* 94:909-916.

- Fernández C., M. Londoño, J. Jaramillo (2003).** Susceptibilidad de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Iponomeutidae) a diferentes aislamientos nativos de *Beauveria bassiana* y su efecto adicional sobre otros lepidópteros asociados a la coliflor. *Revista Colombiana de Entomología* 29:211-219.
- Furlong M. J., D. S. Wright, L. M. Dossall (2013).** Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospect. *Annual Review of Entomology* 58:517-541.
- Goodwin S. (1979).** Changes in the numbers in the parasitoid complex associated with the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera) in Victoria. *Australian Journal of Zoology* 27:981-989.
- Gourdine, J. S., G. S. McCutcheon, A. M. Simmons, y G. L. Leibe (2003).** Kale floral nectar and honey as food sources for enhancing longevity and parasitism of *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae), a parasitoid of the Diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Agricultural and Urban Entomology* 20:1-6.
- Gurr, G. M., S. D. Wratten y M. A. Altierl (2004).** Ecological engineering for pest management: Advances in habitat manipulation for arthropods. CSIRO Publishing. Melbourne. 244 p
- Hama H. (1992).** Insecticide resistance characteristics of diamondback moth. In N. S. Talekar and T. D. Griggs (ed.), Proceedings of the Second International Workshop, Tainan Taiwan. Asian Vegetable Research and Development Center, Taipei, Taiwan, p. 455–463
- Heimpel, G., J. Rosenheim, (1998).** Egg limitation in parasitoids: a review of the evidence and a case study. *Biological control* 11:160-168.
- Hernández, E., M. Aceituno - Medina (2020).** Colonización y Estrategias para renovación de colonias de mosca de la fruta. En: Montoya P., J. Toledo y E. Hernández (eds.) Moscas de la Fruta: Fundamentos y Procedimientos para su Manejo, 2020. S y G editores, Ciudad de México. pp. 399-420.
- Hodek, I. y A. Honek, (1988).** Sampling, rearing and handling of aphids predators. En: A. K. Minks y P. Harrewijn (eds.). *Aphids. Their biology, natural enemies and control*. Vol. B. The Netherlands. Elsevier. pp. 311-321
- Huettel, M. D. (1976).** Monitoring the quality of laboratory-reared insects: a biological and behavioral perspective. *Environmental Entomology* 5:807-814.
- Idris A. B., E. Grafius (1995).** Wild flowers as nectar sources for *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae), a parasitoid of diamondback moth (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Environmental Entomology* 24:1726-1735.
- Idris, A. B., E. Grafius (1996).** Effects of wild and cultivated host plants on oviposition, survival, and development of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Environmental Entomology* 25:825-833.

- Idris, A. B., E. Grafius (1997).** Nectar-collecting behavior of *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae), a parasitoid of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Environmental Entomology* 26:114-120.
- Idris, A. B., E. Grafius (2001).** Evidence of *Diadegma insulare* (Cresson), a parasitoid of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), present in various habitats. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 1:742-743.
- Jervis M.A., M.J.W. Copland (1996).** The life cycle. In: Jervis M., N. Kidd (eds) Insect natural enemies: practical approaches to their study and evaluation. Chapman y Hall, London. Pp. 63-161.
- Jervis, M. A. (1996).** Parasitoid adult feeding behaviour and biocontrol-a review. *Biocontrol News Inform*, 17:11-26.
- Jervis, M. A., N. A. C. Kidd, M. G. Fitton, T. Huddleston y H. A. Dawah (1993).** Flower-visiting by hymenopteran parasitoids. *Journal of natural history* 27:67-105.
- Johanowicz, D. L., E. R. Mitchell (2000).** Effects of sweet alyssum flowers on the longevity of the parasitoid wasps *Cotesia marginiventris* (Hymenoptera: Braconidae) and *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) *Florida Entomologist* 83:41-47.
- Kehrli, P., S. Bacher (2008).** Differential effects of flower feeding in an insect host-parasitoid system. *Basic and Applied Ecology* 9: 709-717.
- Lamb, K. P. (1959).** Composition of the honeydew of the aphid *Brevicoryne brassicae* (L.) feeding on swedes (*Brassica napobrassica* DC.). *Journal of Insect Physiology* 3:1-13.
- Landis, D. A., S. D. Wratten, y G. M. Gurr (2000).** Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual review of entomology* 45:175-201.
- Lavandero, B., S. Wratten, P. Shishebor, y S. Worner (2005).** Enhancing the effectiveness of the parasitoid *Diadegma semiclausum* (Helen): movement after use of nectar in the field. *Biological control* 34:152-158.
- Leatemia, J. A., J. E. Laing, y J. E. Corrigan (1995).** Effects of adult nutrition on longevity, fecundity, and offspring sex ratio of *Trichogramma minutum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) *The Canadian Entomologist* 127:245-254.
- Lee J.C., G.E. Heimpel (2008).** Floral resources impact longevity and oviposition rate of a parasitoid in the field. *Journal of Animal Ecology* 77:565-572
- Lee, J. C., G. E. Heimpel, y G. L. Leibee (2004).** Comparing floral nectar and aphid honeydew diets on the longevity and nutrient levels of a parasitoid wasp. *Entomologia experimentalis et applicata* 111:189-199.

- Maulina F., y M. Muflihayati (2013).** Conservation of *Diadegma Semiclausum* Hellen. Parasitoids as Biological Control to *Plutella Xylostella* Linn. with Adult Food Exploration. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology* 3:335-337.
- McDougall, S. J., y N. J. Mills (1997).** The influence of hosts, temperature and food sources on the longevity of *Trichogramma platneri*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 83:195-203.
- Mensah R.K., A. Singleton (2003).** Optimum timing and placement of a supplementary food spray Envirofeast® for the establishment of predatory insects of *Helicoverpa* spp. in cotton systems in Australia. *International Journal of Pest Management* 49:163–168.
- Munir, S., L. M. Dossdall, y A. Keddie (2018).** Selective effects of floral food sources and honey on life-history traits of a pest–parasitoid system. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 166:500-507.
- Norris R.F., M. Kogan (2005).** Ecology of interaction between weeds and arthropods. *Annual Review of Entomology* 50:479–503.
- Ochoa, R., M. Carballo y J. R. Quezada (1989).** Algunos aspectos de la biología y comportamiento de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) y de su parasitoide *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). Manejo integrado de plagas (Costa Rica) 11:21-30.
- Olson, D. M., K. Takasu, y W. J. Lewis (2005).** Food needs of adult parasitoids: behavioral adaptations. In: *Plant-provided food for carnivorous insects: a protective mutualism and its applications*, Wackers F. L., P.C.J van Rijn. y J Bruin (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 137–147.
- Olson, D., D. Andow (1998).** Larval crowding and adult nutrition effects on longevity and fecundity of female *Trichogramma nubilale* (Ertle and Davis) (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Environmental Entomology*, 27:507–514.
- Ooi, P. A. (1992).** Role of parasitoids in managing diamondback moth in the Cameron Highlands, Malaysia. *Talekar, NS*, 255-262.
- Proctor M. P. Yeo (1973).** The Pollination of Flowers. Collins, London, UK.
- Rivero, A., J. Casas (1999).** Rate of nutrient allocation to egg production in a parasitic wasp. *Proceedings of the Royal Society* 266:1169–1174.
- Sarfras M., A. B. Keddie y L. M. Dossdall (2005).** Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: A review. *Biocontrol Science and Technology*, 15:763.789.
- Sarfraz, M., L. M. Dossdall y B. A. Keddie (2005).** Evidence for behavioural resistance by the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Journal of applied entomology*, 129:340-341.

**SIAP. 2020.**México produjo 567 mil toneladas de brócoli en 2017. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). SAGARPA. Fuente:<https://www.gob.mx/siap/articulos/mexico-produjo-567-mil-toneladas-de-brocoli-en-2017?idiom=es>. Fecha de consulta: 30 de mayo de 2020.

**Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta Nueva Generación (SIACON NG).** Disponible en <https://www.gob.mx/siap/videos/siacon-ng> (Consultado: 26/octubre/2020).

**Tabashnik, B. E., Y. B. Liu, N. Finson, L. Masson, y D. G. Heckel (1997).** One gene in diamondback moth confers resistance to four *Bacillus thuringiensis* toxins. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 94:1640-1644.

**Talekar N. S., A. M. Shelton (1993).** Biology, ecology and management of diamondback moth. *Annual Review of Entomology* 38:275-301.

**Tarango, S. (1999).** Variación en la historia de vida de dos colonias de *Harmonia axyridis* pallas (Coleoptera: Coccinellidae) con diferente tiempo de cría en laboratorio. *Folia entomológica* 107: 51-60.

**Tena, A., C. D. Hoddle y M. S. Hoddle (2013).** Competition between honeydew producers in an ant-hemipteran interaction may enhance biological control of an invasive pest. *Bulletin of entomological research* 103:714–723.

**Tunçbilek, A. Ş., N. Cinar, y Ü. Canpolat, (2012).** Effects of artificial diets and floral nectar on longevity and progeny production of *Trichogramma euproctidis* Girault (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Turkiye Entomoloji Derg* 36:183-191.

**Van Neerbos, F. A., J. G. L. de BoerSalis, W. Tollenaar, M. Kos, L. E. Vet, y J. A. Harvey (2020).** Honeydew composition and its effect on life-history parameters of hyperparasitoids. *Ecological Entomology* 45:278-289.

**Vattala H.D., S.D. Wratten, C.B. Phillips, y F.L. Wäckers (2006).** The influence of flower morphology and nectar quality on the longevity of a parasitoid biological control agent. *Biological Control* 39:179–185.

**Waage, J. K. (1983).** Aggregation in field parasitoid populations: foraging time allocation by a population of *Diadegma* (Hymenoptera, Ichneumonidae) *Ecological Entomology* 8:447-453.

**Wäckers F.L., J. Romeis, P.C.J. van Rijn (2007).** Nectar and pollen feeding by insect herbivores and implications for multitrophic interactions. *Annual Review of Entomology* 52:310-323

**Wäckers, F. L. (2001).** A comparison of nectar-and honeydew sugars with respect to their utilization by the hymenopteran parasitoid *Cotesia glomerata*. *Journal of Insect Physiology* 47:1077-1084.

- Wäckers, F. L. (2004).** Assessing the suitability of flowering herbs as parasitoid food sources: flower attractiveness and nectar accessibility. *Biological control* 29:307-314.
- Wäckers, F.L., P.C.J. van Rijn (2005).** Food for protection: an introduction. In: Wäckers, F.L., P.C.J. van Rijn, J. Bruin (Eds.), *Plant-provided Food and Herbivore–Carnivore Interactions*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1–14.
- Wade, M. R., M. P. Zalucki, S. D. Wratten, y K. A. Robinson (2008).** Conservation biological control of arthropods using artificial food sprays: current status and future challenges. *Biological control* 45:185-199.
- Wang X.G., M.A. Keller (2002).** A comparison of host searching efficiency of two larval parasitoids of *Plutella xylostella*. *Ecological Entomology* 27:105-114.
- Wanner, H., H. Gu, y S. Dorn (2006).** Nutritional value of floral nectar sources for flight in the parasitoid wasp, *Cotesia glomerata*. *Physiological Entomology* 31:127-133.
- Winkler K., F.L. Wäckers, L. Buitriago, J.C. Van Lenteren (2005).** Herbivores and their parasitoids show differences in abundance on eight different nectar producing plants. Proceedings of the Netherlands Entomological Society Meeting. *Pest control* 16:125-130.
- Winkler, K., F. L. Wäckers, A. J. Termorshuizen, y J. C. Van Lenteren (2010).** Assessing risks and benefits of floral supplements in conservation biological control. *BioControl* 55:719-727.
- Yu S., K. Horstmann (1997).** A catalogue of world Ichneumonidae (Hymenoptera). *Memoirs of the American Entomological Institute* 58:1-1558.
- Zoebelein, G. (1956).** Der Honigtau als Nahrung der Insekten: Teil II. *Zeitschrift für angewandte Entomologie* 39:129-167.