



USO DE FRUCTOSA Y PLANTAS CON FLORES PARA FOMENTAR EL CONTROL BIOLÓGICO DE *Plutella xylostella*

USE OF FRUCTOSE AND FLOWERING PLANTS TO ENHANCE *Plutella xylostella* CONTROL

San Marino Cid-Aguilar¹, J. Refugio Lomelí-Flores^{1*}, Esteban Rodríguez-Leyva¹ y Fernando Tamayo-Mejía²

¹Colegio de Postgraduados, Posgrado en Fitosanidad-Entomología y Acarología, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. ²Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural, Celaya, Guanajuato, México.

*Autor de correspondencia (jrlomelif@hotmail.com)

RESUMEN

El acceso a una fuente de carbohidratos se considera indispensable para que los parasitoides manifiesten su potencial reproductivo en campo. En agroecosistemas comerciales, las fuentes de carbohidratos están limitadas durante periodos diferentes del ciclo de cultivo, por lo que esos recursos deberían incorporarse para favorecer la presencia, permanencia y actividad de parasitoides. El objetivo del estudio presente fue evaluar diferentes suplementos y la planta *Lobularia maritima* (Linnaeus, 1753) Desv. (Brassicaceae) como fuente de alimento de *Diadegma insulare* (Cresson, 1865) (Hymenoptera: Ichneumonidae) en laboratorio y campo. En laboratorio, los carbohidratos incrementaron la probabilidad de supervivencia de *D. insulare* ($X^2_6 = 793$, $P \leq 0.0001$), en comparación con las proteínas y el testigo (agua); con fructosa, el 75 % de los individuos sobrevivieron por más de 22 días, mientras que con agua o proteínas el 100 % de los individuos murió antes del sexto día. En campo, el nivel de parasitismo en lotes donde se aplicó fructosa fue casi el doble (82 %) en comparación con el testigo (42 %), se registraron diferencias significativas en la cantidad total de parasitoides emergidos ($F_{5,24} = 3.35$, $P = 0.0194$). Los resultados sugieren alto potencial en el uso de suplementos alimenticios en programas de control biológico de *P. xylostella*.

Palabras clave: *Diadegma insulare*, *Lobularia maritima*, manejo integrado de plagas, suplementos alimenticios.

SUMMARY

Access to carbohydrates is essential for parasitoids to manifest their reproductive potential in the field. In commercial agroecosystems, carbohydrate sources are limited at different periods during the crop cycle, so these resources should be provided to favor the presence, permanence and activity of parasitoids. This study aimed to evaluate different supplements and the plant *Lobularia maritima* (Linnaeus, 1753) Desv. (Brassicaceae) as a food source for *Diadegma insulare* (Cresson, 1865) (Hymenoptera: Ichneumonidae) in the laboratory and field. In laboratory, carbohydrates increased the survival probability of *D. insulare* ($X^2_6 = 793$, $P \leq 0.0001$), compared to proteins and the control (water); with fructose, 75 % of the individuals survived for more than 22 days, while with water or protein, 100 % of the individuals died before the sixth day. In the field, the level of parasitism in plots where fructose was applied was almost double (82 %) compared to the control (42 %), and significant differences were recorded in the total number of parasitoids emerged ($F_{5,24} = 3.35$, $P = 0.0194$). Results suggest a high potential for using food supplements in biological control programs for *P. xylostella*.

Index words: *Diadegma insulare*, *Lobularia maritima*, food supplements, integrated pest management.

INTRODUCCIÓN

La palomilla dorso de diamante, *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae), es una especie cosmopolita y la principal plaga de brasicáceas en el mundo (Bujanos *et al.*, 2013; Furlong *et al.*, 2013). El principal método de combate es el uso de insecticidas químicos sintéticos; sin embargo, éste es cada vez menos eficiente debido a que la plaga ha desarrollado resistencia a un gran número de moléculas químicas (Pudasaini *et al.*, 2022; Sarfraz *et al.*, 2005a) y a productos a base de *Bacillus thuringiensis* (Tabashnik *et al.*, 1997), por lo que se han buscado alternativas como el uso de agentes de control biológico como parte de un programa de manejo integrado de plagas (Norris y Kogan, 2005). El uso de agentes de control biológico ha demostrado en diversos sistemas ser uno de los componentes más importantes en programas de manejo integrado y presenta como gran ventaja ser ecológicamente más amigable, tiene nulos efectos secundarios y no causa daño a la salud humana.

Hay gran cantidad de enemigos naturales de *P. xylostella*, tanto en el área de origen como en las de introducción. De acuerdo con Sarfraz *et al.* (2005b), esta plaga cuenta con más de 130 especies de parasitoides, entre las que destacan especies del género *Diadegma* (Hymenoptera: Ichneumonidae) como reguladores de poblaciones de *P. xylostella* (Ooi, 1992; Munir *et al.*, 2018; Waage, 1983). Este género incluye 201 especies (Yu y Horstmann, 1997), aunque *Diadegma insulare* (Cresson, 1865) (Hymenoptera: Ichneumonidae) es el parasitoide más común de *P. xylostella* en América, desde el sur de Canadá hasta Venezuela (Furlong *et al.*, 2013), por lo que se ha sugerido su inclusión en los programas de manejo integrado de la plaga (Bolter y Laing, 1983; Wang y Keller, 2002).

En programas de control biológico, una fuente rica en carbohidratos y proteínas es un elemento indispensable para 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 (Idris y Grafius, 1995; Tena *et al.*, 2013; Wäckers y van Rijin, 2005). Idris y Grafius (2001) señalaron que *D. insulare* prefiere permanecer en ambientes con refugios y fuentes de alimento como inflorescencias de varias especies, tanto cultivadas como silvestres; además, el control biológico de *P. xylostella* también mejoró cuando se liberaron parasitoides en ambientes donde existían esas especies de plantas (Badenes-Pérez, 2019; Johanowicz y Mitchell, 2000). Se ha demostrado que el néctar y polen son importantes fuente de alimento alternativo de enemigos naturales, y en adultos de parasitoides indispensable; sin embargo, esos recursos son limitados o inexistentes en algunos monocultivos (Gurr *et al.*, 2004); por esa razón, se ha propuesto incrementar la disponibilidad de alimento alternativo mediante la incorporación de plantas con flores; o bien, con la aspersión directa de sustancias ricas en carbohidratos que emulen mielecilla de áfidos o néctar floral, con lo que se podría mejorar la conservación de enemigos naturales e incrementar su acción de control biológico en el cultivo (Jervis *et al.*, 1993; Olson *et al.*, 2005; Wade *et al.*, 2008).

Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo 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 (*Brassica oleracea* var. *italica*) donde se incorporaron plantas de alyssum (*Lobularia maritima*) y la aplicación de suplementos alimenticios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Efecto de suplementos alimenticios en la longevidad de *Diadegma insulare*

Se adquirió un pie de cría de *D. insulare* de la empresa Rancho Medio Kilo (San Francisco de los Romo, Aguascalientes, México). En laboratorio, las pupas se colocaron en una caja Petri (diámetro de 10 cm) dentro de un recipiente de plástico (26 × 13 × 13 cm) con un orificio lateral (13 × 7 cm), cubierto con tela de organza para favorecer ventilación. Los experimentos se iniciaron con adultos de *D. insulare* ≤ 24 h de edad; cada individuo se

aisló en un criotubo de polipropileno (2 mL) al cual se le hizo una perforación en la tapa (diámetro 1 cm), misma que se cubrió con tela de organza para favorecer la ventilación y suministrar alimento.

El ensayo incluyó 15 tratamientos, de los cuales tres tenían carbohidratos (sacarosa, melaza y fructosa), tres tenían proteínas (leche en polvo, levadura de cerveza y proteína hidrolizada) y nueve tenían las posibles combinaciones; además, se incluyó un testigo que sólo dispuso de agua (Cuadro 1). Como fuente de fructosa se utilizó jarabe de maíz de alta fructosa (Miel Karo®); para la sacarosa se utilizó azúcar refinada comercial; para la melaza se usó el producto comercial azúcar mascabado (Zulka®). Como fuente de proteína se usó levadura de cerveza en polvo (Royal®), para la proteína hidrolizada se utilizó el producto Captor 300®, y para la leche en polvo se usó un producto comercial (Nido®). Las concentraciones de los tratamientos se estimaron de acuerdo con la composición de la mielecilla de algunos áfidos (Lamb, 1959; Van Neerbos *et al.*, 2020), que pudiera ser alimento natural de diversos depredadores y parasitoides (Hagenbucher *et al.*, 2014). Los suplementos se disolvieron en 100 mL de agua para tener una solución de 5 % de carbohidratos y 1 % de proteína.

Fase de laboratorio

Se empleó un diseño experimental complementado al azar con 23 repeticiones por tratamiento, cada criotubo se consideró como una unidad experimental. Los tratamientos se ofrecieron a los parasitoides en una torunda de algodón (diámetro = 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 criotubos correspondientes y fue reemplazada cada 24 h para evitar formación de hongos. Todos los ensayos se mantuvieron en una cámara bioclimática a 25 ± 3 °C, 70 ± 10 % HR y fotoperiodo de 12:12 h luz:oscuridad. Diariamente se registró el número de parasitoides vivos hasta que el último ejemplar de cada tratamiento murió. Para los datos de longevidad de los parasitoides, alimentados con los diferentes tratamientos, se hizo un análisis de supervivencia mediante la prueba no paramétrica de logrank; se hicieron seis contrastes incluyendo: i) todos los tratamientos, ii) los tratamientos con carbohidratos, sin combinaciones, iii) los tratamientos con agua, carbohidratos o proteínas, sin combinaciones, iv) todos los tratamientos con fructosa, v) todos los tratamientos con melaza y vi) todos los tratamientos con sacarosa. El análisis se hizo con el programa R, versión 4.0.5, se usó la librería *survival* (Therneau, 2021). El tratamiento que incrementó la probabilidad de supervivencia de los parasitoides se evaluó en el experimento de campo.

Cuadro 1. Tratamientos de carbohidratos, proteínas y sus combinaciones, evaluados como alimento de *Diadegma insulare* en condiciones de laboratorio (25 ± 3 °C, 70 ± 10 % HR, 12:12 h luz:oscuridad).

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	1 mL
Ag	Agua (testigo)	

Efecto de *alyssum* y el suplemento alimenticio más promisorio

La fuente de carbohidratos que proporcionó los mejores resultados en longevidad de *D. insulare* en laboratorio se evaluó en campo (fructosa), y se comparó con la presencia de plantas con flores y un testigo regional (manejo tradicional en la plaga en la región). El experimento se desarrolló en el Rancho Los Aguilares (20° 34' 30.87" N 101° 04' 30.89" W), Salamanca, Guanajuato, México, en una superficie de 24 ha. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con seis tratamientos, cada uno se aplicó en una superficie de 4 ha (200 × 200 m) de brócoli para asegurar la representatividad; se delimitaron cinco unidades experimentales, dispuestas en cinco de oros, anidadas en la superficie de cada tratamiento. Los tratamientos evaluados fueron: T1 aplicación de fructosa, T2 presencia de plantas de *alyssum*, T3 liberación de parasitoides, T4 aplicación de fructosa + liberación de parasitoides, T5 presencia de plantas de *alyssum* + liberación de parasitoides y T6 testigo regional.

Para los tratamientos donde se liberaron parasitoides (adultos de *D. insulare* ≤ 72 h de edad) se realizaron tres liberaciones de manera homogénea a una dosis de 800 individuos ha⁻¹, con intervalos de 15 días entre cada liberación. La primera liberación se realizó 30 días después del trasplante, periodo en el que se ha disipado el efecto de

insecticidas sistémicos aplicados en pre-trasplante.

Para los tratamientos con aplicación de fructosa se realizaron aspersiones semanales de una solución al 5 %, en el 10 % de las plantas de brócoli y se utilizaron 20 L de la mezcla por hectárea; la aspersión se realizó de manera mecanizada con un tanque montado al tractor en uno de cada 10 surcos. En los tratamientos en los que se incorporaron plantas de *alyssum*, éstas tenían una edad de 30 días y ya contaban con flores al momento del trasplante. Estas plantas fueron establecidas en el campo de cultivo el mismo día del trasplante del brócoli. Se colocaron 1000 plantas con flores por hectárea, en un surco se colocó una planta de *alyssum* (intercalada entre plantas de brócoli) cada tres metros, esto se repitió cada 10 surcos. En cada uno de los surcos intermedios se colocó una planta de *alyssum* cada 10 m; de esta manera, se formó una cuadrícula (Figura 1), procurando que las estaciones de alimentación para los parasitoides estuvieran uniformemente repartidas en toda la superficie. Las plántulas de *alyssum* las proporcionó la empresa Grupo U, propietaria de los campos donde se estableció el experimento.

Los muestreos en campo se realizaron semanalmente, en cada tratamiento se tomaron datos y se colectaron muestras en las cinco unidades experimentales dispuestas en "cinco de oros", cada punto fue delimitado para asegurar

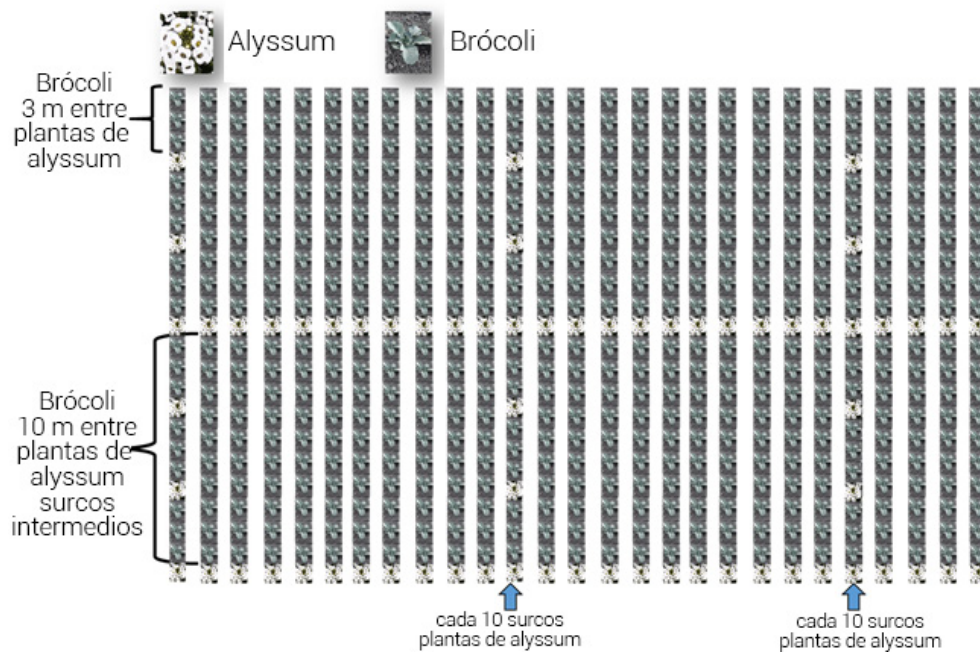


Figura 1. Distribución espacial de plantas de alyssum y brócoli en el rancho Los Aguilares, Salamanca, Guanajuato, México.

la independencia de las observaciones. En cada unidad experimental se revisaron 10 plantas al azar ($n = 50$, cinco repeticiones) y se registró el número de las que presentaban daño reciente por larvas de *P. xylostella*. Adicionalmente, en cada unidad experimental se tomaron 10 plantas al azar ($n = 50$, cinco repeticiones) en las que se contó, por muestreo exhaustivo-destrutivo, el número de larvas pequeñas, medianas y grandes. Finalmente, se realizó un recorrido sistemático para coleccionar 10 larvas grandes y/o pupas de *P. xylostella* en cada unidad experimental, estas muestras se colocaron en cajas de Petri con un disco de hoja de brócoli, el cual fue reemplazado cada dos días hasta que se formó la pupa; los especímenes emergidos se separaron e identificaron utilizando un estereomicroscopio. Los adultos de *P. xylostella* y los parasitoides se identificaron utilizando las claves de Azidah *et al.* (2000) para las especies de *Diadegma*, y material de referencia depositado en la colección de insectos del Colegio de Postgraduados, fruto de proyectos anteriores.

Al porcentaje de plantas con daño se le aplicó la transformación angular ($\arcseno\sqrt{p}$), donde p fue el valor proporcional de plantas dañadas; para esta variable se analizaron los datos al principio y el daño promedio al final del experimento. El porcentaje de parasitismo se calculó sobre larvas de los estadios 3 y 4 (grandes), ya que son las susceptibles a parasitismo por *D. insulare*. Se consideró el número de parasitoides emergidos en relación con la cantidad total de organismos emergidos (parasitoides

+ palomillas), aunque se analizó estadísticamente la cantidad de parasitoides emergidos al principio y el total acumulado al final del experimento; de manera similar, se analizaron los datos de la variable número de larvas de tercer y cuarto estadio por planta. Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre las variables medidas se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$), se utilizó el lenguaje de programación R, versión 4.0.5 (R Core Team, 2021).

RESULTADOS

Efecto de suplementos alimenticios en la longevidad de *Diadegma insulare*

La longevidad de adultos de *D. insulare* depende en forma significativa del tipo de suplemento alimenticio (contraste i , = 2389, $P \leq 0.0001$). De manera general, la probabilidad de sobrevivencia fue significativamente mayor cuando los parasitoides dispusieron de una fuente de carbohidratos sin combinar, en comparación con parasitoides alimentados con proteínas sin combinar o únicamente agua (contraste iii , = 793, $P \leq 0.0001$); el 75 % de los parasitoides alimentados con carbohidratos (fructosa, melaza o sacarosa) vivieron al menos 15 días, mientras que con agua o proteínas el 100 % de los individuos murió antes del día seis (Figura 2a).

La fructosa propició la mayor probabilidad de

supervivencia de parasitoides durante el ensayo; este suplemento alimenticio ocasionó que el 75 % de los individuos viviera al menos 22 días, ese porcentaje de supervivencia se mantuvo únicamente por 18 días con sacarosa y 15 días con melaza (contraste *ii*, = 8.8, $P = 0.012$). La fructosa sin combinar propició mayor longevidad de los parasitoides, en comparación con los tratamientos en los que se combinó este carbohidrato con proteínas (contraste *iv*, = 12, $P = 0.0073$) (Figura 2b). Este mismo patrón se observó para los tratamientos con melaza (contraste *v*, = 42.8, $P \leq 0.0001$) (Figura 2c), mientras que la longevidad en los tratamientos con sacarosa no mostró diferencias significativas (contraste *vi*, = 2.5, $P = 0.47$) (Figura 2d).

Impacto de recursos florales y fructosa en campo

En la variable que midió la abundancia de larvas de *P. xylostella* en plantas de brócoli no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos al momento de la primera evaluación ($F_{5,24} = 1.96$, $P = 0.1201$), la densidad media registrada estuvo entre 0.8 y 2.2 larvas por planta. A través

de las evaluaciones, los conteos acumulados mostraron un mayor incremento en los tratamientos en los que se incorporaron plantas de alyssum (Figura 3); sin embargo, no se detectaron diferencias significativas en el número acumulado de larvas ($F_{5,24} = 1.59$, $P = 0.1985$) (Cuadro 2). Al principio del experimento, el porcentaje de plantas con daño reciente no fue estadísticamente distinto entre los tratamientos ($F_{5,24} = 1.81$, $P = 0.1495$). Los datos de evaluaciones subsecuentes se promediaron y el análisis global indicó que los tratamientos no ejercieron un efecto significativo en el porcentaje de plantas con daño reciente ($F_{5,24} = 1.81$, $P = 0.1495$) (Figura 3).

Al inicio del experimento, antes de la primera liberación de parasitoides, no se detectaron niveles de parasitismo estadísticamente diferentes entre tratamientos ($F_{5,24} = 2.50$, $P = 0.0584$). En la última evaluación, en el tratamiento T6 (testigo regional) se registró 42 % de parasitismo, mientras que en el tratamiento T1 (fructosa) el nivel de parasitismo alcanzó el 82%; estos tratamientos fueron estadísticamente distintos en el número acumulado de parasitoides

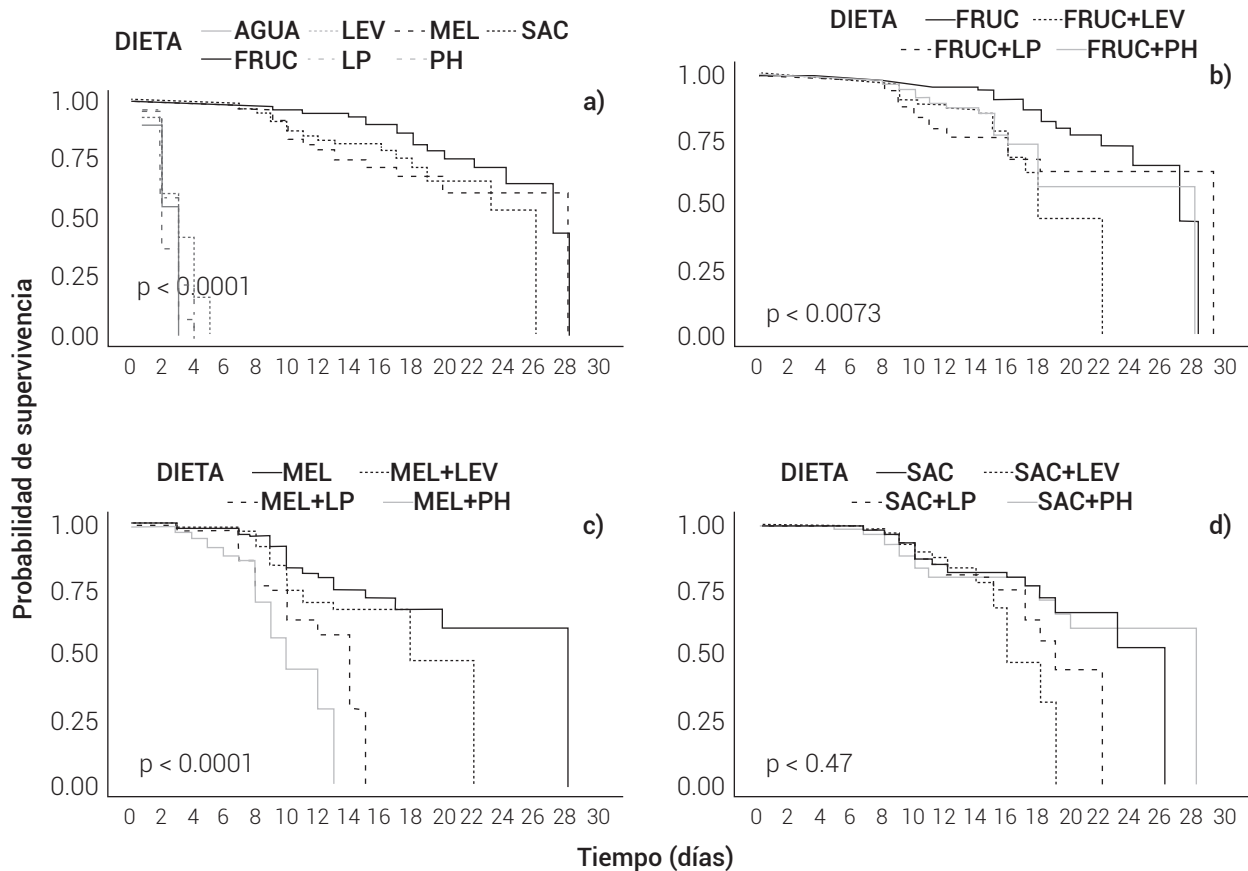


Figura 2. Análisis de supervivencia de adultos de *Diadegma insulare* alimentados con diferentes tipos de proteínas, carbohidratos o su combinación

emergidos ($F_{5,24} = 3.35, P = 0.0194$) (Cuadro 2); en los dos tratamientos en los que se aplicó fructosa se observó una mayor acumulación de parasitoides emergidos (Figuras 4 y 5), aunque las diferencias estadísticas únicamente fueron patentes para los tratamientos antes referidos.

DISCUSIÓN

Las soluciones de carbohidratos, especialmente la fructosa, incrementaron la longevidad de *D. insulare*, los adultos vivieron 12 días más que cuando sólo se les proporcionó agua o alguna proteína. Resultados similares fueron reportados por Wäckers (2001), quien encontró que la fructosa, sacarosa y glucosa son los azúcares que favorecieron mayor longevidad (> 30 días) en el parasitoide *Cotesia glomerata* (Linnaeus, 1758) (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: Bethyidae), la longevidad de este parasitoide se incrementó (> 30 días) cuando existió disponibilidad de fructosa, maltosa y miel de abeja. Los resultados del presente estudio son semejantes a los datos proporcionados por Lee *et al.* (2004), quienes mencionaron que el parasitoide *D. insulare* emerge con altos niveles de lípidos y glucógeno y bajos niveles de azúcares, sus resultados sugieren que la incorporación de

los carbohidratos evaluados a la dieta evitó la inanición e incrementó su longevidad.

En el caso de la alimentación de los adultos de *D. insulare* con las proteínas evaluadas, la longevidad no fue superior a la registrada en adultos a los que se ofreció sólo agua (< 3 días). Bacca *et al.* (2012) ya habían indicado que un suplemento alimenticio con proteína no representó una ventaja a *P. nasuta* en comparación con las dietas ricas en carbohidratos. Por otro lado, McDougall y Mills (1997), en experimentos con *Trichogramma platneri* Nagarkatti, 1975 (Hymenoptera: Trichogrammatidae), encontraron que proteínas derivadas de la levadura carecieron de efecto con respecto a la alimentación con agua; ésto puede deberse a que la proteína por sí sola adolece de 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). Olson y Andow (1998) destacaron la importancia de los carbohidratos en la alimentación de especies sinovigénicas como *D. insulare*, estos compuestos coadyuvan a la maduración de huevos y, de acuerdo con Heimpel y Rosenheim (1998), evitan la reabsorción. En el presente estudio sólo se exploraron tres fuentes de proteína, y es probable que al probar otras fuentes pudieran tenerse efectos positivos, por lo

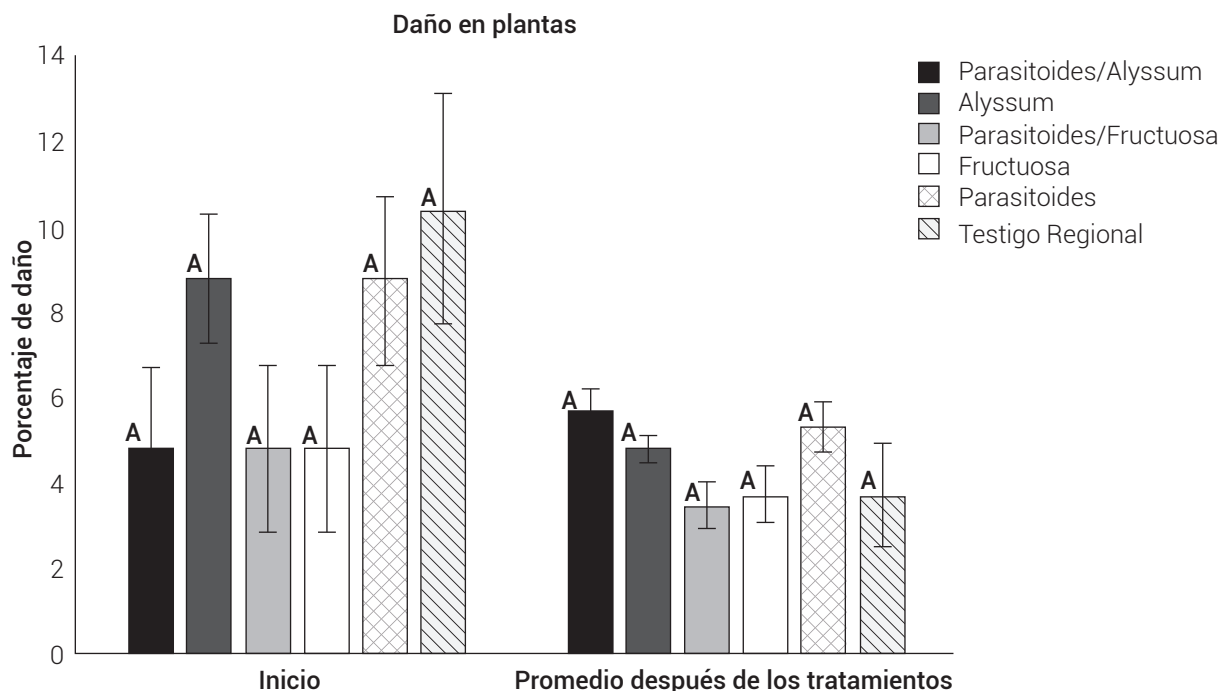


Figura 3. Efecto de los tratamientos en el porcentaje de daño reciente en plantas de brócoli.

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos en el porcentaje de parasitismo y número de larvas de tercer y cuarto instar.

Tratamientos	Promedio de larvas por planta		Parasitoides emergidos	
	Inicio	Acumulado	Inicio	Acumulado
Parasitoides	0.4 ± 0.2	6.2 ± 2.0	6.2 ± 0.6	22.8 ± 1.0 AB
Fructosa	1.0 ± 0.4	8.6 ± 2.3	8.2 ± 0.7	26.4 ± 0.5 AB
Alyssum	2.2 ± 0.7	12.6 ± 2.3	5.4 ± 0.7	20.8 ± 1.4 AB
Parasitoides/fructosa	0.6 ± 0.2	8.2 ± 1.2	7.4 ± 0.5	26.0 ± 1.9 AB
Parasitoides/alyssum	1.2 ± 0.5	11.0 ± 1.7	6.8 ± 0.4	24.0 ± 1.9 AB
Testigo regional	0.8 ± 0.4	7.2 ± 1.7	5.4 ± 1.0	20.2 ± 1.2 AB
	$F_{5,24} = 1.96$ $P = 0.1201$	$F_{5,24} = 1.59$ $P = 0.1985$	$F_{5,24} = 2.50$ $P = 0.0584$	$F_{5,24} = 3.35$ $P = 0.0194$

Medias ± error estándar (ES) con la misma letra dentro de columnas no difieren estadísticamente ($\alpha \leq 0.05$). Sólo se incluyó la separación de medias cuando se detectaron diferencias significativas.

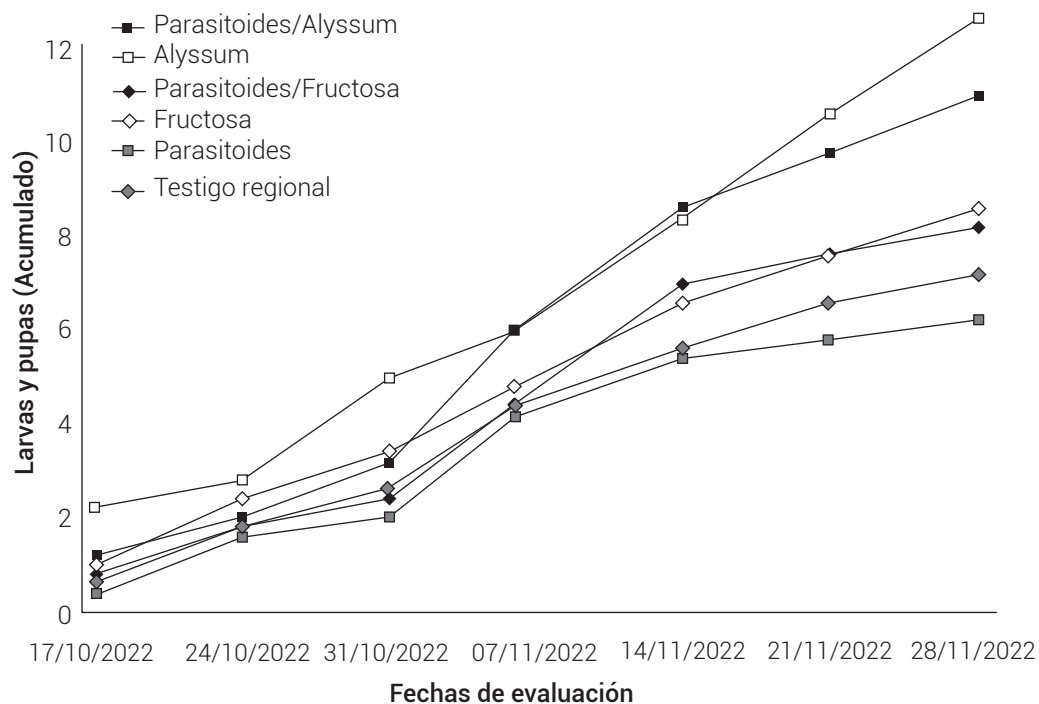


Figura 4. Efecto de los tratamientos en la abundancia de larvas de palomilla dorso de diamante.

que existe la necesidad de seguir explorando, ya que en la mayoría de los insectos el acceso a una proteína es esencial para su reproducción.

La longevidad de los parasitoides alimentados con la combinación de carbohidratos y proteínas en ninguno de los casos superó los resultados obtenidos con fructosa; este tratamiento incrementó de forma significativa la probabilidad de supervivencia de los parasitoides. En

algunos casos se observó que, cuando a los carbohidratos se les adicionó alguna proteína, se redujo significativamente la longevidad de los parasitoides (Figura 2b y c), ésto podría ser originado por una menor aceptación del alimento. Por su parte, Van Neerbos *et al.* (2020) demostraron que la composición de las mezclas de azúcares y proteínas tiene un efecto que puede incrementar o reducir la longevidad de algunos parasitoides.

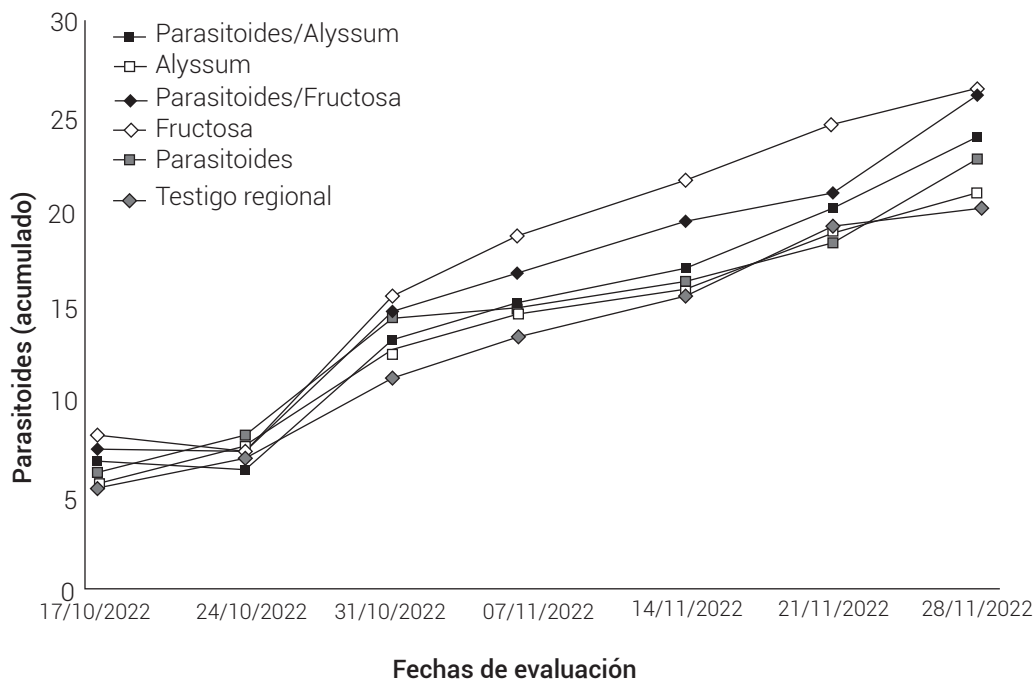


Figura 5. Efecto de los tratamientos en la cantidad de parasitoides emergidos (*Diadegma insulare*)

Cuando el parasitoide *D. insulare* obtiene carbohidratos a través de los exudados de algunos áfidos, o bien del néctar de plantas con flores, se favorece su incremento y permanencia en el cultivo (Ochoa *et al.*, 1989), con lo que podría aumentarse el nivel de control que ejerce sobre la palomilla dorso de diamante (Idris y Grafius, 1995). En los cultivos de crucíferas con muy bajos niveles de biodiversidad (una sola variedad de planta), la aplicación foliar de sustancias azucaradas pudiera reducir la carencia de estos compuestos, ya que en esos agroecosistemas la presencia de plantas con flores es escasa o nula, y está restringida a periodos cortos de tiempo (Mensah y Singleton, 2003).

La aplicación de compuestos que sirven como alimentos alternativos para *D. insulare* es resultado del estudio de la ecología nutricional de este insecto; asimismo, representa una medida de bajo costo y fácil acceso que podrían tener implicaciones directas en programas de control biológico por conservación (Wade *et al.*, 2008). En este estudio se observó que la presencia de fuentes de alimento ricas en carbohidratos favorece la permanencia del parasitoide en el agroecosistema, ésto se reflejó en mayores niveles de parasitismo a través del tiempo; adicionalmente, se ha reportado mayor longevidad, fecundidad y fertilidad de parasitoides, aunque el hospedero se encuentre en

bajas densidades (Gourdine *et al.*, 2003; Olson *et al.*, 2005; Wade *et al.*, 2008).

En relación con la abundancia de larvas de palomilla dorso de diamante, en este estudio se registró mayor densidad poblacional en los dos tratamientos que incorporaron plantas de alyssum; esta tendencia se confirmó en las últimas cuatro evaluaciones, aunque no se detectaron diferencias significativas en los conteos acumulados (Cuadro 2). La asociación de brócoli-alyssum debería analizarse en trabajos futuros para estimar su factibilidad, ya que ambas plantas son de la misma familia botánica (Brassicaceae) y también es un hospedante alterno para *P. xylostella*; algunos estudios indican que el néctar podría servir como alimento para los adultos de la plaga e incrementar su potencial reproductivo (Maulina y Muflihayati, 2013; Winkler *et al.*, 2010). El alyssum se ha utilizado como fuente de néctar en diversos programas de control biológico por conservación (Balmer *et al.*, 2013; Landis *et al.*, 2000), incluyendo a *P. xylostella* y su parasitoide *D. insulare* (Johanowicz y Mitchell, 2000; Lavandero *et al.*, 2005). Es importante mencionar que, además de ser una fuente rica en néctar y polen, alyssum también funciona como refugio para adultos de diversos depredadores y parasitoides, por lo que incrementa la presencia en campo de éstos y, en algunos casos, los niveles de control natural de plagas

(Idris y Grafius, 1995).

Los tratamientos no tuvieron un efecto significativo sobre la variable que midió el daño de *P. xylostella* sobre plantas de brócoli (Figura 3). Los resultados de este estudio dan un indicio de una correlación negativa entre la variable porcentaje de daño y porcentaje de parasitismo, aunque las evidencias no son concluyentes. Por los niveles de parasitismo observados, se considera que *D. insulare* es un buen agente de control biológico para *P. xylostella*; no obstante, las liberaciones inundativas por sí solas no produjeron los mejores resultados 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 insectos por planta en etapa vegetativa y 0.2 en la de fructificación (Bujanos *et al.*, 2013). Si bien, el estudio se llevó a cabo en una época de baja abundancia de *P. xylostella*, los resultados sugieren que las aspersiones de fructosa, al 5 % en el 10 % de las plantas, pueden favorecer la presencia de agentes de control biológico y estas concentraciones no causan daños a la planta como pudiera ser la formación de fumagina, en el caso de plantas con flores se debe seguir experimentando con alyssum u otras especies para lograr una 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 (Jervis *et al.*, 1993; Olson *et al.*, 2005; Wade *et al.*, 2008). La presencia de estas fuentes de alimentación también puede favorecer la capacidad reproductiva de *P. xylostella* (Winkler *et al.*, 2010), por lo que es necesario realizar estudios donde se combine la presencia de plantas con flores y mecanismos de control de esta plaga directamente en las plantas como puede ser el uso de una aspiradora, como se ha propuesto para otros cultivos (Pickel *et al.*, 1994, Weintraub y Horowitz, 1999).

CONCLUSIONES

La solución de fructosa puede ser una medida de bajo costo y potencialmente positiva en la biología de *D. insulare*, se trata de un carbohidrato de fácil adquisición en el mercado en comparación con miel. La aplicación de suplementos alimenticios fomentó el parasitismo en *P. xylostella*. 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.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) por la beca otorgada para sus estudios de maestría. Agradecemos al Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Guanajuato (CESAVEG) por el financiamiento del proyecto y a las empresas Gigante Verde, Rancho Medio Kilo y Grupo U por el apoyo logístico brindado, particularmente a la atención y seguimiento de experimentos de campo por los ingenieros Esteban Macías, Eduardo Salazar y Carlos Llamas.

BIBLIOGRAFÍA

- Azidah A. A., M. G. Fitton and D. L. J. Quicke (2000) Identification of the *Diadegma* species (Hymenoptera: Ichneumonidae, Campopleginae) attacking the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bulletin of Entomological Research* 90:375389, <https://doi.org/10.1017/S0007485300000511>
- Bacca T., J. C. López N. y P. Benavides M. (2012) Evaluación de suplementos alimenticios en adultos del parasitoide *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyidae). *Boletín Científico Centro de Museos. 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, <https://doi.org/10.1093/aesa/say043>
- Balmer, O., L. Pfiffner, J. Schied, M. Willareth, A. Leimgruber, H. Luka and M. Traugott (2013) Noncrop flowering plants restore top-down herbivore control in agricultural fields. *Ecology and Evolution* 3:2634-2646, <https://doi.org/10.1002/ece3.658>
- Bolter C. J. and 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 the Entomological Society of Ontario* 114:1-10.
- Bujanos M. R., A. Marín J., L. F. Díaz E., A. J. Gámez V., M. A. Ávila P., R. Herrera V., ... y F. P. Gámez V. (2013) Manejo integrado de la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* (L.) en la región del Bajío. Folleto Técnico Núm. 27. Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Celaya, Guanajuato, México. 40 p.
- Furlong M. J., D. S. Wright and L. M. Dosdall (2013) Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospect. *Annual Review of Entomology* 58:517-541, <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153605>
- Gourdine J. S., G. S. McCutcheon, A. M. Simmons and 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 and M. A. Altieri (2004) Ecological Engineering for Pest Management: Advances in Habitat Manipulation for Arthropods. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia. 244 p.
- Hagenbucher S., F. L. Wäckers and J. Romeis (2014) Aphid honeydew quality as a food source for parasitoids is maintained in Bt cotton. *PLoS ONE* 9:e107806, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107806>
- Heimpel G. E. and J. A. Rosenheim (1998) Egg limitation in parasitoids: a review of the evidence and a case study. *Biological Control* 11:160-168, <https://doi.org/10.1006/bcon.1997.0587>
- Idris A. B. and 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, <https://doi.org/10.1093/ee/24.6.1726>
- Idris A. B. and 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, <https://doi.org/10.3923/jbs.2001.742.743>
- Jervis M. A., N. A. C. Kidd, M. G. Fitton, T. Huddleston and H. A. Dawah (1993) Flower-visiting by hymenopteran parasitoids. *Journal of Natural History* 27:67-105, <https://doi.org/10.1080/00222939300770051>
- Johanowicz D. L. and 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, <https://doi.org/10.2307/3496226>
- 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, [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(59\)90054-X](https://doi.org/10.1016/0022-1910(59)90054-X)
- Landis D. A., S. D. Wratten and G. M. Gurr (2000) Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology* 45:175-201, <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.45.1.175>
- Lavandero B., S. Wratten, P. Shishehbor and S. Worner (2005) Enhancing the effectiveness of the parasitoid *Diadegma semiclausum* (Hellen): movement after use of nectar in the field. *Biological Control* 34:152-158, <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.04.013>
- Leatemia J. A., J. E. Laing and 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, <https://doi.org/10.4039/Ent127245-2>
- Lee J. C., G. E. Heimpel and G. L. Leible (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, <https://doi.org/10.1111/j.0013-8703.2004.00165.x>
- Maulina F. and Mufflihayati (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* 3:6-8, <https://doi.org/10.18517/ijaseit.3.5.338>
- McDougall S. J. and 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, <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.1997.00172.x>
- Mensah R. K. and 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, <https://doi.org/10.1080/0967087021000046451>
- Munir S., L. M. Dossall and 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, <https://doi.org/10.1111/eea.12682>
- Norris R. F. and M. Kogan (2005) Ecology of interaction between weeds and arthropods. *Annual Review of Entomology* 50:479-503, <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.49.061802.123218>
- Ochoa R., M. Carballo y J. R. Quezada (1989) Algunos aspectos de la biología y comportamiento de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) y de su parasitoida *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Manejo Integrado de plagas (Costa Rica)* 11:21-30.
- Olson D. M. and D. A. Andow (1998) Larval crowding and adult nutrition effects on longevity and fecundity of female *Trichogramma nubilale* (Ertle & Davis) (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Environmental Entomology* 27:507-514, <https://doi.org/10.1093/ee/27.2.508>
- Olson D. M., K. Takasu and W. J. Lewis (2005) Food needs of adult parasitoids: behavioral adaptations. In: *Plant-Provided Food for Carnivorous Insects: A Protective Mutualism and its Applications*. F. L. Wackers, P.C. J van Rijn and J. Bruin (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, UK, pp:137-147, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542220.006>
- Ooi P. A. (1992) Role of parasitoids in managing diamondback moth in the Cameron Highlands, Malaysia. In: *Diamondback Moth and Other Crucifer Pests*. Proceedings of the Second International Workshop, 10-14 December, 1990. N. S. Taketar (ed.). Asian Vegetable Research and Development Center. Taipei, Taiwan. pp:255-262.
- Pickel C., F. G. Zalom, D. B. Walsh and N. C. Welch (1994) Efficacy of vacuum machines for *Lygus hesperus* (Hemiptera: Miridae) control in Coastal California strawberries. *Journal of Economic Entomology* 87:1636-1640, <https://doi.org/10.1093/jee/87.6.1636>
- Pudasaini, R., M.-Yi Chou, T.-J. Wu and S.-M. Dai. (2022). Insecticide resistance and control failure likelihood analysis in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) populations from Taiwan. *Journal of Economic Entomology* 115:835-843, <https://doi.org/10.1093/jee/toac048>
- R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rivero A. and J. Casas (1999) Rate of nutrient allocation to egg production in a parasitic wasp. *Proceedings of the Royal Society B* 266:1169-1174, <https://doi.org/10.1098/rspb.1999.0759>
- Sarfraz M., L. M. Dossall and B. A. Keddie (2005a) Evidence for behavioural resistance by the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Journal of Applied Entomology* 129:340-341, <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2005.00969.x>
- Sarfraz M., A. B. Keddie and L. M. Dossall (2005b) Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: a review. *Biocontrol Science and Technology* 15:763-789, <https://doi.org/10.1080/09583150500136956>
- Tabashnik B. E., Y. B. Liu, N. Finson, L. Masson and D. G. Heckel (1997) One gene in diamondback moth confers resistance to four *Bacillus thuringiensis* toxins. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94:1640-1644, <https://doi.org/10.1073/pnas.94.5.1640>
- Tena A., C. D. Hoddle and 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, <https://doi.org/10.1017/S000748531300045X>
- Therneau T. (2021) Survival: a package for survival analysis in R. R package version 3.2-10. <https://CRAN.R-project.org/package=survival> (February 2023).
- Van Neerbos F. A., J. G. L. de BoerSalis, W. Tollenaar, M. Kos, L. E. Vet and J. A. Harvey (2020) Honeydew composition and its effect on life history parameters of hyperparasitoids. *Ecological Entomology* 45:278-289, <https://doi.org/10.1111/een.12799>
- Waage J. K. (1983) Aggregation in field parasitoid populations: foraging time allocation by a population of *Diadegma* (Hymenoptera, Ichneumonidae). *Ecological Entomology* 8:447-453, <https://doi.org/10.2307/4988>
- 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, [https://doi.org/10.1016/S0022-1910\(01\)00088-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1910(01)00088-9)
- Wäckers F. L. (2004) Assessing the suitability of flowering herbs as parasitoid food sources: flower attractiveness and nectar accessibility. *Biological Control* 29:307-314, <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2003.08.005>
- Wäckers F.L. and P. C. J. van Rijn (2005) Food for protection: an introduction. In: *Plant-Provided Food and Herbivore-Carnivore Interactions. A Protective Mutualism and its Applications*. F. L. Wäckers, P. C. J. van Rijn and J. Bruin (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, UK. pp:1-14, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542220.002>
- Wade M. R., M. P. Zalucki, S. D. Wratten and K. A. Robinson (2008) Conservation biological control of arthropods using artificial food sprays: current status and future challenges. *Biological Control* 45:185-199, <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.10.024>
- Wang X. G. and M. A. Keller (2002) A comparison of host searching efficiency of two larval parasitoids of *Plutella xylostella*. *Ecological Entomology* 27:105-114, <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2002.0374a.x>
- Weintraub P. G. and A. R. Horowitz (1999) Management of the whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.) on melon by vacuum removal. *International Journal of Tropical Insect Science* 19:173-178,

<https://doi.org/10.1017/S1742758400019433>

Winkler K., F. L. Wäckers, A. J. Termorshuizen and J. C. van Lenteren (2010) Assessing risks and benefits of floral supplements in conservation biological control. *BioControl* 55:719-727, [https://](https://doi.org/10.1017/S1742758400019433)

doi.org/10.1007/s10526-010-9296-8

Yu S. and K. Horstmann (1997) A catalogue of world Ichneumonidae (Hymenoptera). *Memoirs of the American Entomological Institute* 58:1-1558.