


COMPATIBILIDAD DE DOS INSECTICIDAS, AZADIRACTINA Y FLUFENOXURON, CON *Tamarixia triozae* Burks, 1943 (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE), ECTOPARASITOIDE DEL PSILIDO DEL TOMATE

Ana Lorena Pérez-Bernal, Sinue Isabel Morales-Alonso, Ana Mabel Martínez-Castillo, Samuel Pineda-Guillermo, Juan Manuel Chavarrieta-Yáñez y José Isaac Figueroa-De la Rosa 

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Km. 9.5 Carr. Morelia-Zinapécuaro. 58880 Tarímbaro, Michoacán, México.

 Autor de correspondencia: figueroaji@yahoo.com.mx

RESUMEN. Este estudio determinó la sobrevivencia de adultos de *T. triozae* expuestos a residuos de 6 h (hora) de azadiractina (220 y 354 mg ingrediente activo [i.a.]/ L) y flufenoxurón (100 y 120 mg i.a./ L) sobre plantas de tomate. También se determinó la fecundidad en los adultos sobrevivientes y proporción sexual en la progenie. Los residuos de azadiractina y flufenoxurón en las dos concentraciones ensayadas, para cada insecticida, resultaron inocuos sobre los adultos del parasitoide, registrando una sobrevivencia entre el 90 al 100% en los parasitoides tratados y un 100% en los testigos. La fecundidad de *T. triozae* no fue afectada por los residuos de ninguna de las dos concentraciones ensayadas de azadiractina o flufenoxurón. En general, tanto en los individuos expuestos a residuos de insecticidas como en el testigo, la fecundidad diaria fue de 6 huevos/hembra, y la fecundidad acumulada en las tres exposiciones estuvo comprendido entre 27 - 33 huevos/hembra. La proporción sexual de *T. triozae* (generación F₁) fue 1:2 (macho:hembra), significativamente mayor a la emergencia de hembras (73-78%) que de machos (21-27%). Azadiractina y flufenoxurón resultaron compatibles con el parasitoide, ambos insecticidas pueden ser integradas en el control del psílido del tomate *B. cockerelli*.

Palabras clave: Sobrevivencia. Fecundidad. Proporción sexual. Insecticidas.

Compatibility of two insecticides, azadiractin and flufenoxuron, with *Tamarixia triozae* Burks, 1943 (Hymenoptera: Eulophidae), ectoparasitoid of tomato psyllid

ABSTRACT. This study determined the survival of adults of *T. triozae* exposed to residues of 6 h of azadiractin (220 and 354 mg active ingredient [a.i.]/ L) and flufenoxuron (100 and 120 mg a.i./ L) on tomato plants. It was also determined fecundity in adult survivors and sex ratio of progeny. The residues of azadiractin and flufenoxuron in the two concentrations tested, for each insecticide, were innocuous on adults of the parasitoid, registering a survival between 90 to 100% in treated parasitoids and 100% in control parasitoids. The fecundity of *T. triozae* was not affected by residues from either of the two tested concentrations of azadiractin or flufenoxuron. In general, both exposed individuals and control individuals, the daily fecundity was 6 eggs/female, and the accumulated fecundity in the three exposures was between 27-33 eggs/female. The sexual ratio of *T. triozae* (generation F₁) was 1:2 (male: female), it was significantly greater in females (73-78%) than males (21-27%). Azadiractin and flufenoxuron were found to be compatible with the parasitoid, both insecticides can be integrated into the control of tomato psyllid *B. cockerelli*.

Keywords: *Paratrioza*, Entomophagous, Parasitoid.

INTRODUCCIÓN

Tamarixia triozae Burks, 1943 (Hymenoptera: Eulophidae) es un ectoparasitoide sinovigénico que comúnmente se encuentra atacando al psílido del tomate, *Bactericera cockerelli* Sulc., 1909 (Hemiptera: Triozidae), en México. Dicha plaga es una de las más importantes en los cultivos de solanáceas por ser vector de la bacteria Candidatus *Liberibacter solanacearum* que causa la enfermedad zebra chip (ZCh) en varias hortalizas (EPPO, 2013). El control de *B. cockerelli* se ha

realizado a través del uso de insecticidas químicos aunque, es bien sabido, que los insecticidas causan efectos letales y subletales sobre los enemigos naturales. En este contexto, distintos estudios se han conducido con la finalidad de evaluar la toxicidad de varios insecticidas neurotóxicos en adultos y etapas inmaduras del parasitoide *T. triozae* (Luna *et al.*, 2011, 2015; Liu *et al.*, 2012; Martínez *et al.*, 2015; Morales *et al.*, 2018); así como para conocer el efecto de los mismos sobre el parasitismo, emergencia, proporción sexual y longevidad del parasitoide (Liu *et al.*, 2012; Luna *et al.*, 2011; Martínez *et al.*, 2015; Morales *et al.*, 2018).

Sin embargo, hace falta entender el efecto que puedan ocasionar los insecticidas selectivos, menos tóxicos y de rápida degradación en el ambiente como es el caso del flufenoxurón (benzoylureas) y la azadiractina (derivado natural), ambos reguladores de crecimiento, que han sido utilizados para el control de *B. cockerelli*. En este estudio se determinó la sobrevivencia en los adultos de *T. triozae* expuestos a residuos de azadiractina y flufenoxurón sobre plantas de tomate, así como, la fecundidad y proporción de sexos en los sobrevivientes.

MATERIALES Y MÉTODO

Cría de insectos. La colonia de *B. cockerelli* se inició con 100 ejemplares (50 adultos y 50 ninfas) recolectados de manera directa sobre plantas de tomate en condiciones de invernadero, en el municipio de Paracho, Michoacán, México. El parasitoide *T. triozae* fue proporcionada por la empresa Koppert México S.A de C.V, El Marqués, Querétaro, México. Para incrementar la población de *B. cockerelli* se utilizó plantas de tomate tipo Saladette (Var. Rio Grande), mismas que sirvieron para alimentar a las ninfas y adultos, así como para sustrato de oviposición (Martínez *et al.* 2015). Para el parasitoide se utilizaron plantas de tomate infestadas con ninfas de tercer (N₃), cuarto (N₄) y quinto (N₅) instar de *B. cockerelli*, los cuales eran los adecuados para el parasitismo y alimentación de los adultos de *T. triozae*. Adicionalmente, se les suministró miel de acuerdo a lo descrito por Morales *et al.* (2013). Ambas crías fueron mantenidas en el Laboratorio de Entomología Agrícola (LEA) (~25°C, 56% RH, y un fotoperiodo de 12:12 h [Luz: Oscuridad]) del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) en Tarímbaro, Michoacán, México. Ambas crías tenían el antecedente de no haber estado expuestas a insecticidas.

Determinación de la sobrevivencia. Para este experimento se asperjaron a punto de goteo cinco plantas de tomate (6-7 hojas bien desarrolladas, ~50 cm) con la concentración mínima/máxima recomendada en campo (CMinRC/CMáxRC) de los insecticidas mencionados en el Cuadro 1. Las plantas del testigo se trataron únicamente con agua destilada más el adherente dispersante Tween[®] 20 al 0.01% (peso: volumen). Después de la aspersión, las plantas de tomate se dejaron secar por ~2 h en un área despejada y posteriormente se acomodaron en el centro de un invernadero ventilado (120 m² de área) (16-35 °C, 50% HR y un fotoperiodo de ~14:10 h [luz: oscuridad]) del IIAF-UMSNH en Tarímbaro, Michoacán, México.

Seis horas después de las aplicaciones de los insecticidas sobre plantas de tomate, en un foliolo de una hoja tratada se colocó una jaula clip (1.5 cm de altura × 4 cm de diámetro), en la cual se introdujeron tres parejas de *T. triozae* (≤ 8 d edad) (= una repetición). Las parejas permanecieron expuestas por 72 h a los residuos de los insecticidas y se alimentaron con pequeñas gotas de miel colocadas en las paredes internas de la jaula clip. Posterior a las 72 h, las parejas de *T. triozae* se extrajeron de la jaula clip y se trasladaron al LEA, donde con ayuda de un microscopio estereoscopio (ZEISS, Stemi DV4, Göttingen, Germany) se contabilizó el número de individuos vivos que respondieron a estímulos provocados por un pincel de cerdas finas. Se realizaron cinco repeticiones por cada concentración de cada insecticida y el testigo.

Fecundidad y proporción sexual. Los adultos de *T. triozae* que sobrevivieron a los residuos, tanto de la CMinRC y CMáxRC de azadiractina y flufenoxurón, se colocaron inmediatamente dentro de un cilindro de plástico que contenía la parte apical de una planta de tomate (dos folíolos, ~15 cm de largo) infestada con una mezcla de 25 ninfas N₃ y N₄ (≤ 12 h de edad) de *B. cockerelli*. Para evitar el escape de los insectos, y asegurar una buena ventilación, la parte superior del cilindro se cubrió con tela de organza. En cada cilindro de plástico se colocó una pareja (= a una repetición) del parasitoide para evaluar la fecundidad. Se realizaron ocho repeticiones por cada concentración de cada insecticida y el testigo.

La fecundidad se determinó en tres periodos, cada una de 48 h. Al término de cada periodo, las ninfas de *B. cockerelli* se examinaron bajo un microscopio estereoscopio para contabilizar el número de ninfas parasitadas. Se revisó entre el primero y segundo par de coxas o entre el segundo y tercer par de coxas de las ninfas de *B. cockerelli* para ubicar el huevo del parasitoide como lo sugiere Morales *et al.* (2013). Una vez determinada la fecundidad, los vasos que contenían la parte apical de tomate con las ninfas parasitadas se mantuvieron en una cámara bioclimática ($25 \pm 2^\circ\text{C}$, $60 \pm 10\%$ HR y un fotoperiodo de 12:12 h [Luz: Oscuridad]) hasta la emergencia de los adultos del parasitoide, donde se determinó la proporción sexual de la progenie (generación F₁).

Análisis de datos. Los datos de sobrevivencia, fecundidad y proporción sexual de los adultos de *T. triozae* expuestos a residuos de flufenoxurón y azadiractina se sometieron al procedimiento de modelos lineales generalizados (GLM). Las medias se separaron con la prueba de diferencias mínimas significativas ($P < 0.05$) (SAS/STAT versión 9.3; SAS Instituto, Cary, NC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sobrevivencia. Los dos insecticidas resultaron inocuos sobre machos y hembras de *T. triozae*, tanto para los residuos de la CMinRC y CMáxRC de azadiractina como para CMinRC y CMáxRC de flufenoxurón. No hubo una afectación significativa de la sobrevivencia en machos ($F = 0.75$; gl = 20, 24; $P = 0.56$) y hembras ($F = 0.84$; gl = 3, 14; $P = 0.49$). La sobrevivencia de los adultos que estuvieron expuestos a azadiractina y flufenoxurón fue de 90 a 100%, lo cual fue similar al testigo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Sobrevivencia (porcentaje \pm EE) de adultos de *T. triozae* expuestos a los residuos de insecticidas asperjados sobre plantas de tomate.

Insecticida (ingrediente activo)	Concentración <i>Tamarixia triozae</i>		
	(mg i.a./L)	Macho	Hembra
Testigo	0	100 \pm 0 Aa	100 \pm 0 Aa
Ecozin [®] CE (Azadiractina)	220 ¹	93 \pm 7 Aa	100 \pm 0 Aa
	354 ²	100 \pm 0 Aa	90 \pm 10 Aa
Cascade [®] 100 CD (Flufenoxurón)	100 ¹	100 \pm 0 Aa	100 \pm 0 Aa
	120 ²	93 \pm 7 Aa	93 \pm 7 Aa

Medias dentro de cada columna (letras minúsculas) y dentro de cada fila (letras mayúsculas), seguidas por la misma letra no difieren significativamente (ANOVA y separación de medias LSD; $P \leq 0.05$). ¹Concentración mínima recomendada en campo (CMinRC); ²Concentración máxima recomendada en campo (CMáxRC).

Fecundidad. La fecundidad de las hembras de *T. triozae* que sobrevivieron a los residuos de azadiractina y flufenoxurón no fue afectada por ninguna de las concentraciones ensayadas (Cuadro 2). No hubo diferencias significativas entre la fecundidad diaria ($F = 0.26$; gl = 4, 93; $P = 0.90$), y acumulada en las tres exposiciones ($F = 1.06$; gl = 4, 29; $P = 0.39$), de hembras expuestas a las distintas concentraciones de azadiractina y flufenoxurón con el testigo. La fecundidad diaria fue de

6 huevos/hembra, mientras que la fecundidad acumulada fue de 27 a 35 huevos/hembra (Cuadro 2).

Proporción sexual. La progenie de machos de la F₁ de *T. triozae* estuvo comprendida entre 21-27% y en hembras entre un 73-78%, significativamente ($F = 1.13$; $gl = 4,87$; $P = 0.34$) igual a lo registrado en el testigo (17 y 83% para machos y hembras, respectivamente) (Cuadro 2). Sin embargo, al comparar la proporción entre sexos en los tratamientos con el testigo, se encontraron diferencias significativas ($F = 65.32$; $gl = 9, 174$; $P = 0.0001$), con una proporción 1:2 (macho: hembra) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Fecundidad y proporción sexual (\pm EE) de los adultos de *T. triozae* expuestos a los residuos de insecticidas asperjados sobre plantas de tomate.

Tratamiento	Concentración (mg i.a./L)	Fecundidad		Proporción sexual (%)	
		Diaria	Total	Macho	Hembra
Testigo	0	6 \pm 0.3 a	35 \pm 3 a	17 \pm 3 Aa	83 \pm 3 Ab
Azadiractina	220	5 \pm 0.3 a	33 \pm 1 a	27 \pm 4Aa	73 \pm 4Ab
	354	6 \pm 0.3 a	33 \pm 3 a	25 \pm 4Aa	75 \pm 4Ab
Flufenoxurón	100	6 \pm 0.3 a	27 \pm 3 a	24 \pm 4Aa	76 \pm 4Ab
	120	6 \pm 0.3 a	32 \pm 2 a	21 \pm 3Aa	78 \pm 3Ab

Medias dentro de cada columna (letras minúsculas) y dentro de cada fila (letras mayúsculas), en cada parámetro medido, seguidas por la misma letra no difieren significativamente (ANOVA y separación de medias LSD; $P \leq 0.05$).

Los insecticidas azadiractina y flufenoxurón resultaron inocuos para los adultos de *T. triozae* que se expusieron a residuos de insecticidas durante 72 h. Se registró una sobrevivencia $\geq 90\%$ tanto en machos como en hembras expuestas a insecticidas, y de 100% en las hembras que sirvieron como testigos, coincidiendo con lo reportado por Luna *et al.* (2011) cuando expusieron adultos de *T. triozae* a tres concentraciones (156, 234 y 312 mg i.a./L) de azadiractina (96% de sobrevivencia) sobre plantas de tomate en condiciones de invernadero; aunque estos autores tuvieron una mortalidad de 38% cuando experimentaron con una dosis más elevada de azadiractina (1056 mg i.a./L). Resultados similares, se encontraron en *Tamarixia radiata* Waterston, 1922 (Hymenoptera: Eulophidae) cuando se expusieron a flufenoxurón (0.050 g i.a./L) y etoxazol (0.021 g i.a./L) (reguladores de crecimiento de ácaros). En esta caso su sobrevivencia respectiva estuvo por encima del 76 y 95% (Lira *et al.* 2015).

Azadiractina y flufenoxurón actúan principalmente en las etapas inmaduras donde existe mayor actividad fisiológica del sistema endocrino, la primera induce una interrupción de la síntesis de la hormona de muda (Mordue, 1993), mientras que la segunda inhibe la biosíntesis de quitina (Merzendorfer, 2013). Esto explica la razón del porqué se tuvo altos porcentajes de sobrevivencia del parasitoide *T. triozae* en el presente estudio.

El nulo efecto que tuvieron los insecticidas en la fecundidad de las hembras de *T. triozae* sobrevivientes a las distintas concentraciones utilizadas de azadiractina y flufenoxurón (27 a 35 huevos/hembra) fue similar a lo reportado por Biondi *et al.* (2015), quienes registraron una fecundidad de 43 huevos/hembra/semana en las hembras de *Aphytis melinus* DeBach (Hymenoptera: Aphelinidae) expuestas (24 h) a residuos de 75 ml/hL de piriproxifen (agonistas de la hormona juvenil). En contraste, en hembras de *Habrobracon hebetor* Say, 1836 (Hymenoptera: Braconidae), la fecundidad disminuyó a 96 y 77 huevos/hembra al ser expuestas a 5.5 y 25.1 μ g a.i./ml de azadiractina, respectivamente, comparado con su testigo (118 huevos) (Abedi *et al.* 2014).

La proporción sexual de la progenie del parasitoide *T. triozae* coincidió con lo reportado en *A. melinus* cuando se expusieron los adultos al insecticida piriproxifen (75 ml/hL) (Biondi *et al.* 2015). Contrario a esto, *T. radiata* redujo su emergencia de hembras en un 61 y 64% al cuando se expuso a residuos de flufenoxurón (0.050 g i.a./L) y etoxazol (0.021 g i.a./L), respectivamente, ~ 0.8 veces que su testigo (74%) (Lira *et al.* 2015), en comparación a lo obtenido en *T. triozae* (76 a 78% en la emergencia de hembras) cuando se expuso a flufenoxurón.

CONCLUSIÓN

Azadiractina y flufenoxurón resultaron ser insecticidas inocuos para los adultos de *T. triozae*. Ninguna concentración ensayada de azadiractina y flufenoxurón afectaron la sobrevivencia y fecundidad de los adultos de *T. triozae*, así como la proporción sexual de la progenie del parasitoide. Por lo tanto, ambas alternativas podrían ser integradas en el control del psílido del tomate *B. cockerelli*.

AGRADECIMIENTOS

A la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por el financiamiento de este proyecto. A Koppert México S.A de C.V. por el material biológico proporcionado.

LITERATURA CITADA

- Abedi, Z., Saber, M., Gharekhani, G., Mehrvar, A. y S. G. Kamita. 2014. Lethal and sublethal effects of azadirachtin and cypermethrin on *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Economic Entomology*, 107 (2): 639-645.
- Biondi, A., Campolo, O., Desneux, N., Siscaro, G., Palmeri, V. y L. Zappalà. 2015. Life stage-dependent susceptibility of *Aphytis melinus* DeBach (Hymenoptera: Aphelinidae) to two pesticides commonly used in citrus orchards. *Chemosphere*, 128: 142-147.
- EPPO, European and Mediterranean Plant Protection Organization. 2013. *Bactericera cockerelli*. *Bulletin*, 43 (2): 202-208.
- Lira, S. A. C., Zanardi, Z. O., Beloti, H. V., Bordini, P. G., Yamamoto, T. P., Parra, P. J. R. y G. A. Carvalho. 2015. Lethal and sublethal impacts of acaricides on *Tamarixia radiata* (Hemiptera: Eulophidae), an important ectoparasitoid of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Journal of Economic Entomology*, 108 (5): 2278-2288.
- Liu, Tong-Xian, Zhang, Yong-Mei, Peng Li-Nian, Rojas, P. y T. J. Trumble. 2012. Risk assessment of selected insecticides on *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Trizoidae). *Journal of Economic Entomology*, 105 (2): 490-496.
- Luna-Cruz, A., Lomelí-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., Ortega-Arenas L. D. y A. Huerta-De La Peña. 2011. Toxicidad de cuatro insecticidas sobre *Tamarixia triozae* (Burks) (Hymenoptera: Eulophidae) y su hospedero *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae). *Acta Zoológica Mexicana*, 27 (3): 509-526.
- Luna-Cruz, A., Rodríguez-Leyva, E., Lomelí-Flores, J. R., Ortega-Arenas, L. D., Bautista-Martínez, N. y S. Pineda. 2015. Toxicity and residual activity of insecticides against *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae). *Journal of Economic Entomology*, 108 (5): 2289-2295.
- Martínez, A. M., Chavarrieta, J. M., Morales, S. I., Caudillo, K. B., Figueroa, J. I., Díaz, O., Bujanos, R., Gómez, B., Viñuela, E. y S. Pineda. 2015. Behavior of *Tamarixia triozae* females (Hymenoptera: Eulophidae) attacking *Bactericera cockerelli* (Hemiptera:

- Triozidae) and effects of three pesticides on this parasitoid. *Environmental Entomology*, 44 (1): 3–11.
- Merzendorfer, H. 2013. Chitin synthesis inhibitors: old molecules and new developments. *Insect Science*, 20 (2): 121-138.
- Morales, A. S. I., Martínez, A. M., Figueroa, J. I., Espino, H. A. M., Chavarrieta, Y. J. M., Ortiz, R. R., Rodríguez, E. C. L. y S. Pineda. 2013. Parámetros de vida del parasitoide sinovigénico *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 39 (2): 243-249.
- Morales, S. I., Martínez, A. M., Viñuela, E., Chavarrieta, J. M., Figueroa, J. I., Schneider, M. I., Tamayo, F. y S. Pineda. 2018. Lethal and sublethal effects on *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae), an ectoparasitoid of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae), of three insecticides used on solanaceous crops. *Journal of Economic Entomology*, 20 (20): 1-8.
- Mordue, A. J. y A. Blackwell. 1993. Azadirachtin: an update. *Journal of Insect Physiology*, 39 (11): 903-924.