



Integración de extractos vegetales y *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) para el manejo de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) †

[Integration of plant extracts and *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) for the management of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae)]

Laura Delia Ortega-Arenas^{1*}, Edgar Eduardo Mendoza-García²,
Juan A. Villanueva-Jiménez³ and Miguel Ángel Serrato Cruz⁴

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Postgrado en Fitosanidad-Entomología y Acarología. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, C.P. 56264. Email: ladeorar@colpos.mx*

²Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario número 10, Prolongación 6a Norte s/n, Colonia Las Flores, Santiago Pinotepa Nacional, Jamiltepec, Oaxaca, México, C.P. 71602, dircbta10@hotmail.com.mx

³Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Postgrado en Agroecosistemas Tropicales. Carretera Xalapa-Veracruz km 88.5, Tepetates, Manlio F. Altamirano, Veracruz, México, C.P. 94257. Email: javj@colpos.mx

⁴Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnía. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México, C.P. 56230. Email: serratocruz@gmail.com

*Corresponding author

SUMMARY

Background. *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) is among the most harmful pests that limit citrus yields, as it is a vector of the bacterium that causes Huanglongbing (HLB). Its management is based on the use of insecticides. Still, the possibility of using alternative techniques such as plant extracts and the parasitoid *Tamarixia radiata* Waterston (Hymenoptera: Eulophidae) within an IPM program has recently been explored. **Objectives.** To evaluate the combined application of essential vegetable oils of *Foeniculum vulgare* Mill. (Apiaceae), *Tagetes coronopifolia* Willd., *T. lemmonii* A. Gray, and *T. terniflora* Kunth (Asteraceae) with the parasitoid *T. radiata* in the management of *D. citri*. **Methodology.** In the first phase, the toxicity of the oils at different concentrations (LC₃₀, LC₅₀, LC₈₀) toxic to *D. citri* was evaluated on the parasitoid, followed by two compatibility tests. The first consisted of directly applying the oils to nymphs and subsequently exposing them to *T. radiata*. In a second phase, exposure to the parasitoid was carried out first, followed by applying the oils. **Results.** *T. coronopifolia* and *T. lemmonii* essential oils were safe (Category 1; mortality < 30 % IOBC) for adults of *T. radiata*. Instead, the three evaluated concentrations of *T. terniflora* (0.02, 0.21, and 7.12 mg mL⁻¹) were slightly harmful (Category 2: 30-79 % IOBC) for the parasitoid. In compatibility tests, applying oils (LC₈₀ and LC₅₀), in the first phase affected the feeding and parasitism of *T. radiata*. However, the LC₃₀ of *T. lemmonii* oil in combination with the parasitoid reduced the population of *D. citri* nymphs by 81 %, followed by *T. coronopifolia* (76 %) and *T. terniflora* (63.2 %). A complementary interaction occurred in the second compatibility test (parasitoid-oils), since combining *T. radiata* with the application of the three oils suppressed by 80 % or more the population of *D. citri* nymphs. **Implications.** The feasibility of simultaneously employing extracts and parasitoids as effective control tactics for the integrated management of *D. citri*-HLB might depend on carefully selecting extracts, concentrations, and application times. **Conclusions.** It is possible to reach the compatibility between the parasitoid *T. radiata* and *T. coronopifolia*, *T. lemmonii*, and *F. vulgare* sprayed oils for the integrated management of *D. citri*, as long as the nymphs are first exposed to the parasitoid and then to the extracts LC₃₀.

Key words: botanical insecticides; IPM; vegetable oils; *Tagetes*; biological control; citrus pests.

RESUMEN

Antecedentes. *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) se encuentra entre las plagas más dañinas que limitan el rendimiento de los cítricos debido a que es vector de la bacteria causal del Huanglongbing (HLB). Su

† Submitted June 18, 2025 – Accepted August 21, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6413>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = L.D. Ortega-Arenas: <https://orcid.org/0000-0002-1154-4359>; E.E. Mendoza-García: <https://orcid.org/0000-0002-0644-7095>; J.A. Villanueva-Jiménez: <https://orcid.org/0000-0003-0668-3466>; M.Á. Serrato Cruz: <https://orcid.org/0000-0002-0029-733X>

manejo se basa en el uso de insecticidas. Sin embargo, recientemente se ha explorado la posibilidad de emplear técnicas alternativas como el uso de extractos vegetales y el parasitoide *Tamarixia radiata* Waterston (Hymenoptera: Eulophidae) dentro de un programa MIP. **Objetivos.** Evaluar la aplicación combinada de aceites vegetales esenciales de *Foeniculum vulgare* Mill. (Apiaceae), *Tagetes coronopifolia* Willd., *T. lemmonii* A. Gray y *T. terniflora* Kunth (Asteraceae) con el parasitoide *T. radiata* en el manejo de *D. citri*. **Metodología.** En la primera fase se evaluó la toxicidad de los aceites a diferentes concentraciones (CL₃₀, CL₅₀, CL₈₀), tóxicas para *D. citri*, sobre el parasitoide, seguida de dos pruebas de compatibilidad: la primera consistió en la aplicación directa de los aceites sobre ninfas y la exposición posterior de éstas a *T. radiata*. En la segunda fase se realizó primero la exposición al parasitoide, seguida de la aplicación de los aceites. **Resultados.** Los aceites esenciales de *T. coronopifolia* y *T. lemmonii* resultaron inocuos (Categoría 1; mortalidad < 30 % OICB) para adultos de *T. radiata*. En cambio, las tres concentraciones evaluadas de *T. terniflora* (0.02, 0.21 y 7.12 mg mL⁻¹) fueron ligeramente nocivas (Categoría 2: 30-79 % OICB) para el parasitoide. En pruebas de compatibilidad, la aplicación de aceites (CL₈₀ y CL₅₀) en la primera fase afectó la alimentación y el parasitismo de *T. radiata*. Sin embargo, la CL₃₀ del aceite de *T. lemmonii* en combinación con el parasitoide redujo en 81 % la población de ninfas de *D. citri*, seguida por *T. coronopifolia* (76 %) y *T. terniflora* (63.2 %). Una interacción complementaria ocurrió en la segunda prueba de compatibilidad (parasitoide-aceites), ya que la combinación de *T. radiata* con la aplicación de los tres aceites suprimió en 80 % o más la población de ninfas de *D. citri*. **Implicaciones.** La factibilidad de emplear, de manera simultánea, extractos y parasitoides como tácticas efectivas de control para el manejo integrado de *D. citri*-HLB depende de la selección cuidadosa de los extractos, concentraciones y momentos de aplicación. **Conclusiones.** Es factible la integración del parasitoide *T. radiata* con los aceites de *T. coronopifolia*, *T. lemmonii* y *F. vulgare* para el manejo integrado de *D. citri*, siempre y cuando las ninfas se expongan primero al parasitoide y después a la CL₃₀ de los extractos.

Palabras clave: insecticidas botánicos; MIP; aceites vegetales; *Tagetes*; control biológico; plagas de cítricos.

INTRODUCCIÓN

El Psílido Asiático de los Cítricos (PAC) *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) limita el rendimiento, entre el 74 y el 100 %, de los cítricos debido a que, además de ocasionar daños directos al alimentarse, tiene la capacidad para transmitir a varias especies de bacterias restringidas al floema (*Candidatus Liberibacter africanus*, *C.L. americanus* y *C.L. asiaticus*) asociadas al Huanglongbing (HLB) (Thakuria et al., 2023). Esta enfermedad, de categoría letal, es considerada la más devastadora de los cítricos en el mundo (García-Ávila et al., 2021; López et al., 2022; Monzó-Ferrer y Vanaclocha, 2022).

El uso de insecticidas convencionales se ha generalizado como la forma más común del control de infestaciones altas del psílido; sin embargo, esta forma de control no ha sido eficaz para solucionar el problema tanto por el desarrollo de resistencia, como por los efectos colaterales adversos que genera (Pérez-Zarate et al., 2016; García-Méndez et al., 2019). Algunos insecticidas de uso foliar como la bifentrina, metomil, clorpirifos y dimetoato, también eliminan una gran cantidad de depredadores y parasitoides (Tanaka y Minakuchi, 2012; Mata et al., 2024). En los últimos años, tanto en cultivos convencionales como orgánicos, ha crecido el interés por el uso de insecticidas selectivos para el manejo del psílido, ya sean extractos vegetales o bioplaguicidas, en combinación con enemigos naturales (Khan et al., 2014; Ortega-Arenas et al., 2022). Los extractos vegetales poseen varios principios activos que les permite ejercer su toxicidad a través de diferentes modos de acción, además son biodegradables y presentan toxicidad reducida para el humano y otros

mamíferos (Nikolova et al., 2015; Isman, 2020). Entre los extractos o aceites esenciales de plantas aromáticas que tienen efecto tóxico o repelente contra el PAC se encuentran los derivados del ajo (*Allium sativum* L.), orégano (*Origanum vulgare* L.) (Cázares et al., 2014), toloache (*Datura stramonium* L.) (Sandoval-Reyes et al., 2013), hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.), romero (*Rosmarinus officinalis* L.), guayaba (*Psidium guajava* L.) (Zaka et al., 2010; Onagbola et al., 2011), nim (*Azadirachta indica* Juss.), paraíso (*Melia azedarach* L.), venadillo *Swietenia humilis* Zucc. (Almada-Ruiz et al., 2021), así como varias especies de *Tagetes* (*Tagetes coronopifolia* Willd., *T. lemmonii* Gray, *T. lucida* Cav., *T. terniflora* Kunth y *T. filifolia*) (Mendoza-García et al., 2015; 2019).

Por otro lado, se han identificado varios enemigos naturales del PAC para su uso en programas de control biológico, como los parasitoides *Tamarixia radiata* (Waterston), *T. triozae* (Burks) y *T. dryi* (Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae). En México, *T. radiata* se produce en masa y se libera como parte de la estrategia nacional de control de este problema fitosanitario (García-Ávila et al., 2021). *T. radiata* es uno de los parasitoides más eficientes para regular las poblaciones del psílido, ya que su nivel de parasitismo es alto, así como su capacidad de búsqueda y habilidad para alimentarse de los primeros instares ninfales (Skelley y Hoy, 2004). Sin embargo, este parasitoide no siempre es exitoso debido a su alta susceptibilidad a insecticidas convencionales y al efecto de algunas prácticas del cultivo en sus poblaciones (Tanaka y Minakuchi, 2012; Mata et al., 2024). Se han obtenido resultados positivos en la selectividad a *T. radiata* de algunos insecticidas convencionales

(Lira *et al.*, 2014) e insecticidas comerciales de origen botánico como Biodie, NeemPHC y CinnAcar (Monsreal-Ceballos *et al.*, 2017). En la mayoría de los estudios, la liberación del parasitoide antes de la aplicación de los extractos y en condiciones de baja radiación ha mostrado acción complementaria, lo que aumenta la mortalidad del psílido sin afectar negativamente al parasitoide (Orozco-Santos *et al.*, 2016; Monsreal-Ceballos *et al.*, 2017). Actualmente ninguna estrategia de manejo por sí sola es capaz de reducir las poblaciones de *D. citri*-HLB, por lo que es importante investigar la factibilidad de emplear de manera simultánea, diversas tácticas efectivas de control. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de los aceites esenciales de hinojo y cuatro especies de *Tagetes*, en combinación con el parasitoide *T. radiata*, para el manejo de *D. citri* en condiciones controladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Todos los bioensayos para evaluar los efectos tóxicos y/o de compatibilidad de los aceites esenciales y el parasitoide se realizaron en el Laboratorio de Insectos Vectores del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en Texcoco, México, con insectos criados en condiciones controladas de invernadero.

Insectos

La cría masiva de *D. citri* se estableció en plantas de naranja dulce (*Citrus sinensis* L. Osbeck, Rutaceae) var. Valencia, de insectos recolectados inicialmente en cítricos de la comunidad de Cazones de Herrera, Veracruz, México. Esta colonia no ha sido sujeta a presión de selección por insecticidas desde 2009. Los adultos se dejaron sobre las plantas con brotes durante una semana para su oviposición. Posteriormente, los insectos se retiraron mediante un aspirador bucal. Las plantas infestadas se mantuvieron en invernadero ($27 \pm 3^\circ\text{C}$ y 14:10 h de fotoperiodo) dentro de jaulas entomológicas (60×40×60 cm), cubiertas con tela de organza, hasta alcanzar la emergencia de nuevos adultos. Las plantas infestadas se colocaron en jaulas libres de adultos con el fin de tener poblaciones con edades controladas.

La colonia de *T. radiata* se estableció en invernadero ($27 \pm 3^\circ\text{C}$ y 14:10 h de fotoperiodo) a partir de adultos procedentes del Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB), Tecmán, Colima, México. Los parasitoides se mantuvieron sobre plantas de *Murraya paniculata* (L.) Jack (Rutaceae) infestadas con ninfas de 3er y 4to instar de *D. citri*, confinadas en jaulas entomológicas por 15 d para su oviposición. Las plantas infestadas se retiraron y mantuvieron en las jaulas hasta la emergencia de adultos. Los adultos se alimentaron cada 48 h con solución de miel Karo® al 1 %.

Material vegetal y extracción de aceites

Para producir el material vegetal se establecieron parcelas de *T. coronopifolia* (procedente de Santa María Tecuanulco, Texcoco, México), *T. lemmonii* (proveniente de la Sierra de Mazatán, Sonora, México) y *T. terniflora* (procedente de Los Altos de Chiapas, México), en el Campo Experimental de Fitotecnia (CAEF) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) (Lat. 19.49656624, Long. -98.87791993, 2250 msnm), Edo. de México. Las plantas de *F. vulgare* se produjeron en el CAEF en una plantación establecida desde el año 2010. Las especies fueron identificadas por Ernestina Cedillo Portugal (curadora del herbario "José Espinosa Salas", UACH) mediante las claves taxonómicas de Calderón y Rzedowski (2001) y cotejadas con los especímenes existentes en el herbario (números de Voucher: *F. vulgare* Mill. 22021, *T. coronopifolia* Willd. 2568, *T. terniflora* Kunth 31586, y *T. lemmonii* A. Gray 9181). Las partes aéreas de las plantas en floración se trituraron con una ensiladora. Los aceites se extrajeron inmediatamente en un hidrodestilador de acero inoxidable (1×1.2 m) con una capacidad de 300 kg. El tiempo de destilación fue de ≈ 3 h, con una condensación de 200 a 400 mL de extracto oleoso. Los aceites se almacenaron en frascos de vidrio de color ámbar con tapa y se refrigeraron a 4°C .

Extractos evaluados

En la Tabla 1 se presentan las CL₃₀, CL₅₀ y CL₈₀ de los aceites de *F. vulgare*, *T. coronopifolia*, *T. lemmonii* y *T. terniflora*, determinadas en experimentos preliminares (Mendoza-García *et al.*, 2019), utilizadas en las evaluaciones de compatibilidad. Los aceites se diluyeron en agua destilada con Tween 20® al 0.1 % como surfactante y emulsionante.

Tabla 1. Aceites esenciales y concentraciones evaluadas en pruebas de compatibilidad.

Aceite	Concentraciones (mg mL ⁻¹)		
	CL ₃₀	CL ₅₀	CL ₈₀
<i>Foeniculum vulgare</i>	0.03	0.19	3.65
<i>Tagetes coronopifolia</i>	0.03	0.11	1.03
<i>Tagetes lemmonii</i>	0.01	0.05	1.69
<i>Tagetes terniflora</i>	0.02	0.21	7.12

Parasitismo de *T. radiata*

En una planta de *C. sinensis* var. 'Valencia' se seleccionaron dos brotes vegetativos y cada uno se infestó con 30 a 35 ninfas de *D. citri* de 3er y 4to instar de la cría existente. Sin remover de la planta, los brotes infestados se aislaron individualmente en un recipiente cilíndrico de plástico liso transparente (150 mL de capacidad), el cual contaba con una abertura lateral (3.5 × 3.5 cm) cubierta con tela de

organza. Con un microaspirador bucal, se colectaron de la cría mantenida en invernadero, adultos del parasitoide de 3 a 6 d de emergidos, para colocarlos durante 2 h en ayuno; posteriormente, se introdujeron una, dos o tres parejas a la unidad experimental a través de un orificio lateral ($\varnothing = 1$ cm), con la finalidad de definir el número de parasitoides a emplear en bioensayos de compatibilidad. Las plantas con los brotes infestados se dispusieron al azar en condiciones controladas (27 ± 3 °C y 14:10 h de fotoperiodo). Los parasitoides se retiraron 24 ó 48 h después de la infestación. Se realizaron cinco repeticiones por tratamiento. Los brotes se removieron de la planta 10 d después de la infestación para contabilizar, bajo microscopio estereoscópico, el número de adultos emergidos, tanto del psílido como del parasitoide, así como las ninfas muertas y las ninfas muertas con signos de depredación; estas últimas se identificaron por presentar hemolinfa solidificada, por quedarse adheridas a la hoja, y/o por carecer de simetría dorsal (Vizcarra-Valdez *et al.*, 2013). El porcentaje de parasitismo se determinó mediante la presencia de larvas y pupas del parasitoide o al observar orificios de emergencia del parasitoide en las ninfas de *D. citri*; para lo cual se utilizó la fórmula propuesta por Qureshi *et al.* (2009): $\text{Parasitismo (\%)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parasitoides emergidos}}{(\text{N}^\circ \text{ de hospederos emergidos} + \text{N}^\circ \text{ de parasitoides emergidos})} \times 100$.

Toxicidad de aceites en adultos de *T. radiata*

Se siguió el método de bioensayo propuesto por Luna-Cruz *et al.* (2015), con ligeras modificaciones. Se separaron adultos del parasitoide sin sexar, en grupos de 20 individuos, dentro de puntas de micropipeta de 1 mL (ThermoScientific®, U.S.A.) y se mantuvieron en ayuno por 2 h. Las puntas con parasitoides se sometieron a -4 °C por 90 s para inmovilizarlos y facilitar la aplicación de los tratamientos (Smith y Olson, 1982). Con un pincel de pelo de camello (000), se transfirió cada grupo de adultos a un disco de papel secante, dispuesto previamente dentro de una caja de Petri ($\varnothing$ 4.0 cm); inmediatamente, se expusieron los parasitoides a la aspersión de 1.5 mL de solución de cada tratamiento con Tween 20® al 0.1 %. La aplicación se realizó mediante un atomizador manual de 5 mL de capacidad. El testigo consistió en la aplicación de agua destilada con Tween 20® al 0.1 %. Los insectos tratados se transfirieron a frascos transparentes de poliestireno (25 mL), con tapa sellable perforada finamente para permitir la ventilación y con dos líneas finas de solución de miel Karo® al 1 %. Los frascos con insectos se mantuvieron dentro de una cámara bioclimática a 27 ± 3 °C, 60 ± 5 % HR y 14:10 h de fotoperiodo. La mortalidad se registró 24 y 48 h después de la aplicación. Se consideraron muertos a los adultos derribados que no reaccionaron al ser estimulados con las cerdas de un pincel.

Bioensayos de compatibilidad

Se determinó la compatibilidad de los aceites esenciales con los parasitoides mediante dos bioensayos. El primero (aceites-parasitoides) consistió en la aplicación directa de los aceites (CL₃₀, CL₅₀ o CL₈₀) (Tabla 1) sobre un grupo de ninfas de tercer y cuarto instar de *D. citri*, dispuestas en brotes de *Citrus sinensis* var. 'Valencia'. A las 24 h después de la aplicación, los brotes con ninfas tratadas se aislaron dentro de un frasco transparente de 150 mL de capacidad, y se expusieron a tres parejas de *T. radiata* por 48 h. En el segundo bioensayo (parasitoides-aceites), las ninfas se expusieron primero a las tres parejas de parasitoide por 48 h y después se trataron con la CL₃₀, CL₅₀ o CL₈₀ de cada aceite. En ambos bioensayos se incluyeron dos testigos en el primero (testigo absoluto) solo se asperjó una solución acuosa con Tween 20® al 0.1 %, sin la presencia de parasitoides; en el segundo no se asperjó ninguna solución y solo se expusieron las ninfas a los parasitoides. En todas las pruebas, la unidad experimental consistió en un brote de *C. sinensis* con 30 a 35 ninfas de tercer y cuarto instar de *D. citri*, con cinco repeticiones por tratamiento. La mortalidad ninfal se registró a los 7 d; las ninfas depredadas presentaron solidificación de la hemolinfa, ninfas adheridas a la hoja de naranja por la hemolinfa derramada, y ninfas sin simetría dorsal (Vizcarra-Valdez *et al.*, 2013). El porcentaje de parasitismo consideró la presencia de la larva y la pupa del parasitoide o bien, ninfas de *D. citri* con orificios de emergencia del parasitoide.

Análisis de datos

La mortalidad obtenida en las cinco repeticiones en el testigo absoluto (≤ 12 %) se utilizó para corregir la mortalidad de los tratamientos en cada uno de sus niveles mediante la ecuación de Abbott (1925). Se realizó un ensayo factorial 4 (aceites) x 3 (concentraciones) x 2 (tiempos) y cinco repeticiones. Los datos de mortalidad se transformaron mediante $\log(Y + 1)$, para realizar el análisis de varianza (Proc GLM, SAS) (SAS Institute, 1999) y la prueba de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$). Se analizó por separado cada combinación de datos de las pruebas de compatibilidad. Se analizó mediante regresión logística el número de ninfas muertas para cada caso, ya sea por los aceites (*F. vulgare*, *T. coronopifolia*, *T. lemmonii*, *T. terniflora*), las concentraciones (CL₃₀, CL₅₀ y CL₈₀) o los momentos de aplicación (aceite-parasitoide y parasitoide-aceite) para cada combinación. Se analizó la presencia del exceso de dispersión de los datos respecto a los esperados, bajo los supuestos binomiales, mediante la distribución de Fisher, en lugar de la distribución de χ^2 . Los análisis se realizaron con el paquete estadístico Genstat (Payne *et al.*, 2002).

RESULTADOS

Parasitismo de *T. radiata*

El porcentaje de ninfas de *D. citri* parasitadas mostró una relación directa con el número de parejas del parasitoide y el tiempo de exposición (F5,23, $P = 0.0001$). El parasitismo más bajo (11.5 %) se registró donde se liberó una pareja, mientras que el mayor porcentaje de parasitismo (35.6 %) se obtuvo con la liberación de tres parejas de *T. radiata* (F2,11, $P = 0.04$), con 24 h de exposición. El parasitismo se incrementó en 2.5 X (29.3 %), 1.7 X (48.8 %) y 2.1 X (72.5 %) al exponer las ninfas a una, dos y tres parejas de *T. radiata* por 48 h (F2,11, $P = 0.0009$) (Tabla 2).

Tabla 2. Parasitismo (% $\pm$ SD) de ninfas de *Diaphorina citri* por parejas del parasitoide *Tamarixia radiata* a las 24 h y 48 h de exposición.

No. parejas	Parasitismo de <i>T. radiata</i> (% $\pm$ SD)	
	24 h	48 h
1	11.53 $\pm$ 3.5 b	29.34 $\pm$ 5.2 b
2	27.92 $\pm$ 4.8 ab	48.83 $\pm$ 6.1 b
3	35.61 $\pm$ 5.5 a	72.52 $\pm$ 7.2 a

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

Toxicidad de aceites en adultos de *T. radiata*

Los cuatro aceites vegetales evaluados mostraron efecto tóxico después de su aplicación, aunque la actividad se relacionó positivamente con la concentración y con el tiempo postaplicación (F3,59, $P \leq 0.05$). La mortalidad promedio más alta (34.4 %) se obtuvo al aplicar la CL₈₀ (7.12 mg·mL⁻¹) del aceite de *T. terniflora* a las 48 h postaplicación y la más baja (5.2 %) con la aplicación de la CL₃₀ (0.01 mg·mL⁻¹) del aceite de *T. lemmonii* a las 24 h postaplicación (Tabla 3). Se detectaron diferencias significativas (F3,59, $P < 0.0001$) entre las concentraciones y a las 48 h después de su aplicación (F3,39, $P = 0.0007$; 0.0042).

Pruebas de compatibilidad

Parasitismo

Los cuatro aceites, a las tres concentraciones letales evaluadas, mostraron un efecto positivo sobre el parasitismo de *T. radiata* (F2,159, $P < 0.001$); dicha actividad se relacionó positivamente con la concentración y orden de aplicación. En todos los aceites, el mayor porcentaje de ninfas parasitadas se obtuvo al aplicar la CL₃₀ (14.3 $\pm$ 1.5), seguida por la CL₅₀ (6.0 $\pm$ 1.0) y la CL₈₀ (3.0 $\pm$ 0.7) (Figura 1). El mayor parasitismo se encontró con la aplicación de la CL₃₀ del aceite esencial de *T. lemmonii* (18.9 $\pm$ 2.7), seguida en orden

descendiente por *T. coronopifolia* (15.6 $\pm$ 2.5), *T. terniflora* (11.9 $\pm$ 2.1) y *F. vulgare* (11.0 $\pm$ 2.2). De igual forma, el parasitismo estuvo determinado por el orden de aplicación de los aceites y los parasitoides (F3,159, $P = 0.005$); con mayor porcentaje de ninfas parasitadas cuando se expusieron primero al parasitoide y después a la aplicación del aceite. A excepción del aceite de *F. vulgare*, donde el porcentaje de ninfas parasitadas (9.0 $\pm$ 2.0) fue mayor cuando las ninfas se expusieron primero al parasitoide y después a la aplicación del aceite, en los restantes tratamientos se tuvo una respuesta contraria; es decir, el parasitismo fue mayor (8.8 a 12.7) cuando se aplicaron primero los aceites y después se liberaron los parasitoides (Figura 1).

Depredación

El momento de aplicación de los aceites y las concentraciones evaluadas fueron determinantes en el porcentaje de hospederos alimenticios o ninfas de *D. citri* depredadas por el parasitoide *T. radiata* y difirieron del total de ninfas depredadas en el testigo (29.8 $\pm$ 1.3) (F2,159, $P < 0.001$). El porcentaje de hospederos alimenticios presentó una relación directa con la concentración y el extracto aplicado (F6,159, $P = 0.947$). El mayor porcentaje se registró cuando se aplicaron las CL₃₀ (19.0 $\pm$ 1.9) y CL₅₀ (8.4 $\pm$ 1.3) de los extractos, y cuando las ninfas se expusieron primero al parasitoide *T. radiata* y después a la aplicación de los aceites. La aplicación de las CL₈₀ antes de la liberación del parasitoide, prácticamente nulificó la alimentación del parasitoide en ninfas tratadas (Figura 2). A excepción de lo registrado con el aceite de *T. terniflora*, el cual afectó negativamente la alimentación de *T. radiata* (5.0 %), la aplicación de las CL₃₀ de los aceites esenciales de *F. vulgare*, *T. coronopifolia* y *T. lemmonii* (9.3, 9.5 y 12.2 %) antes de la exposición al parasitoide fue similar e inocua a la alimentación de *T. radiata* (Figura 2).

Mortalidad de ninfas por aceites esenciales

La mortalidad promedio de ninfas de *D. citri* indicó diferencias significativas entre aceites esenciales aplicados y las concentraciones evaluadas (F2,159, $P < 0.001$). La mayor mortalidad se registró cuando se aplicaron las CL₈₀ de los aceites y cuando las ninfas se expusieron primero al aceite y después al parasitoide (86.4 $\pm$ 1.3 %). La aplicación de las CL₃₀ (34.6 y 37.7 %) y CL₅₀ (53.6 y 52.0 %) causó mortalidad similar en los dos momentos de aplicación (Figura 3). Los aceites de *F. vulgare*, *T. lemmonii* y *T. terniflora* actuaron de manera similar en los dos momentos de aplicación y la mortalidad promedio fue de 49.2 $\pm$ 2.2 %. Sin embargo, se logró mayor mortalidad de ninfas cuando primero se aplicó el aceite de *T. coronopifolia* (61.8 $\pm$ 2.0 %) y después las ninfas se expusieron al parasitoide (Figura 3).

En general, se infiere que los cuatro aceites, a las tres concentraciones letales evaluadas, mostraron un efecto positivo sobre el parasitismo y depredación de *T. radiata* y mortalidad de *D. citri*; dicha actividad se relacionó positivamente con la concentración y orden de aplicación (F2, 159, $P < 0.001$) (Figura 4). El testigo que no fue tratado con aceites (ninfas expuestas a los parasitoides) presentó mayor porcentaje de ninfas parasitadas y depredadas (31.5 y 29.8). El mayor parasitismo

(18.9 ± 2.7) y la mayor depredación (28.1 ± 3.1) se encontraron con la aplicación de la CL₃₀ del aceite esencial de *T. lemmonii*, seguidos por *T. coronopifolia* (15.6 ± 2.5 y 28.3 ± 3.1), *T. terniflora* (11.9 ± 2.1 y 24.8 ± 2.7) y *F. vulgare* (11.0 ± 2.2 y 27.9 ± 3.1). La mortalidad de ninfas ocasionada por los aceites fue directamente proporcional a sus concentraciones evaluadas (CL₃₀, CL₅₀ y CL₈₀) (Figura 4).

Tabla 3. Mortalidad (% $\pm$ SD) de adultos del parasitoide *Tamarixia radiata* a las 24 h y 48 h después de la aplicación de cuatro aceites esenciales.

Trat.	<i>F. vulgare</i>		<i>T. coronopifolia</i>		<i>T. lemmonii</i>		<i>T. terniflora</i>	
	24	48	24	48	24	48	24	48
CL ₈₀	10.3 $\pm$ 7.9 a	9.9 $\pm$ 7.0 a	18.4 $\pm$ 7.2 a	17.8 $\pm$ 9.0 a	7.2 $\pm$ 4.5 a	15.6 $\pm$ 7.2 a	20.6 $\pm$ 7.7 a	34.4 $\pm$ 7.2 a
CL ₅₀	6.4 $\pm$ 5.4 ab	6.6 $\pm$ 8.6 ab	9.2 $\pm$ 3.9 b	15.8 $\pm$ 6.8 a	8.2 $\pm$ 5.9 a	10.4 $\pm$ 6.5 ab	16.4 $\pm$ 6.9 ab	26.7 $\pm$ 4.6 ab
CL ₃₀	7.8 $\pm$ 5.7 ab	8.2 $\pm$ 4.9 ab	10.2 $\pm$ 3.3 b	10.5 $\pm$ 5.9 a	5.2 $\pm$ 5.1 a	6.2 $\pm$ 6.6 ab	5.4 $\pm$ 0.9 c	20.0 $\pm$ 0.1 b
Control	5.0 $\pm$ 0.7 b	9.0 $\pm$ 0.4 b	3.0 $\pm$ 0.9 c	6.0 $\pm$ 0.8 b	3.0 $\pm$ 0.5 a	4.0 $\pm$ 0.4 b	8.0 $\pm$ 0.5 c	10.0 $\pm$ 0.0 c

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

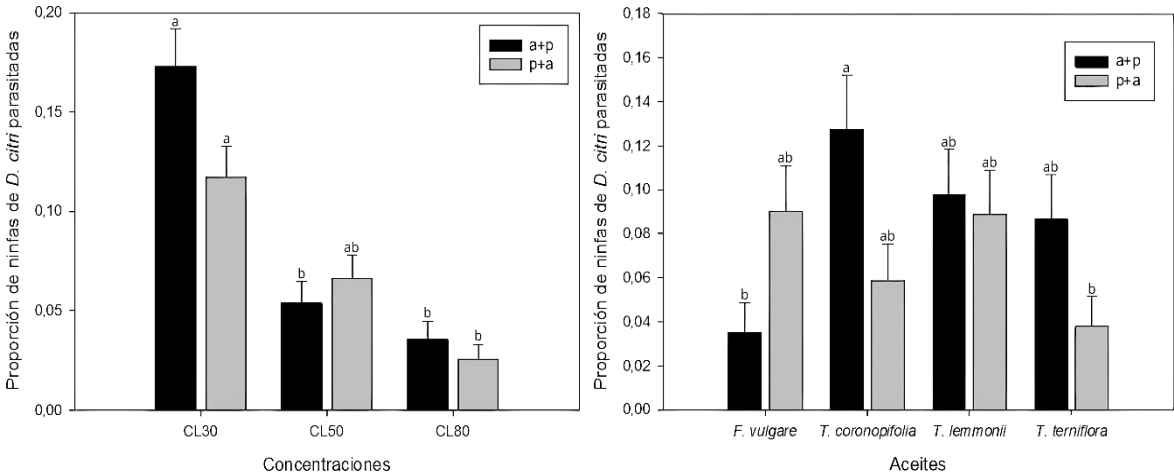


Figura 1. Parasitismo de *Tamarixia radiata* en ninfas de *Diaphorina citri* tratadas con tres concentraciones de aceites esenciales (dato promedio) y orden de aplicación (a+p = aceite-parasitoide o p+a = parasitoide-aceite).

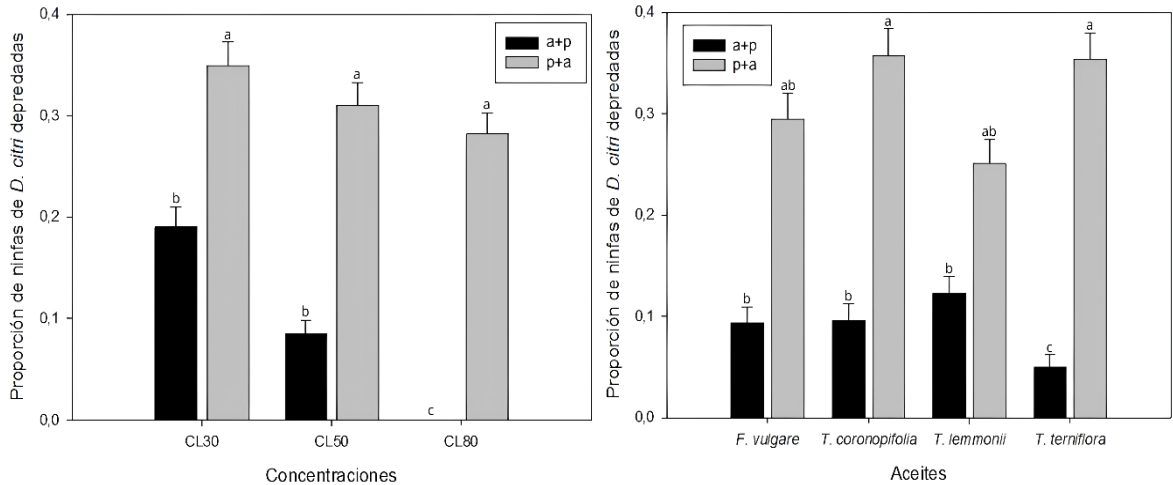


Figura 2. Depredación de *Tamarixia radiata* en ninfas de *Diaphorina citri* tratadas con tres concentraciones de aceites esenciales (dato promedio) y según orden de aplicación (a+p = aceite-parasitoide o p+a = parasitoide-aceite).

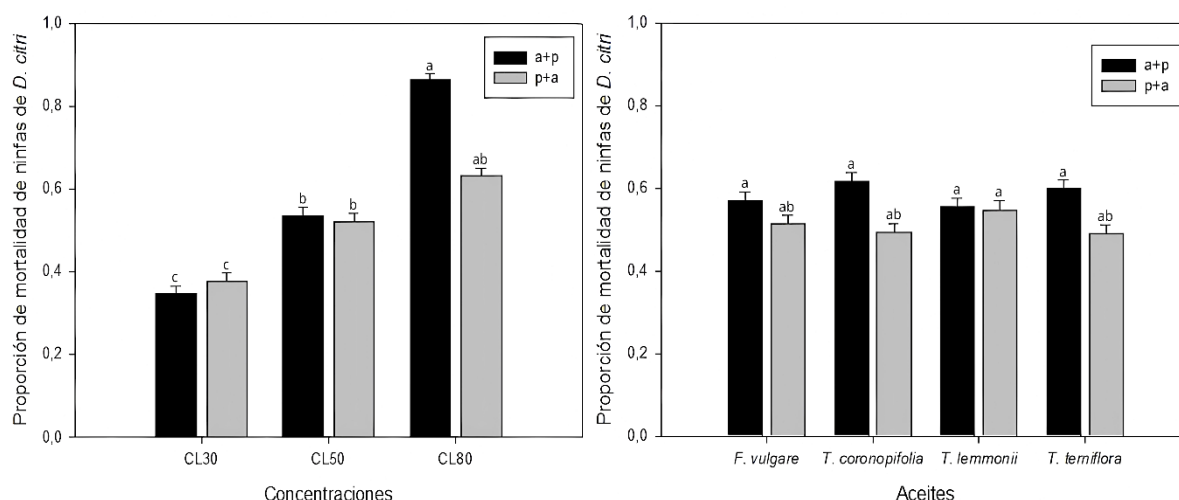


Figura 3. Mortalidad (% ± SD) de ninfas de *D. citri* por efecto de la concentración letal y el orden de aplicación de los aceites (a+p = aceite-parasitoide o p+a = parasitoide-aceite).

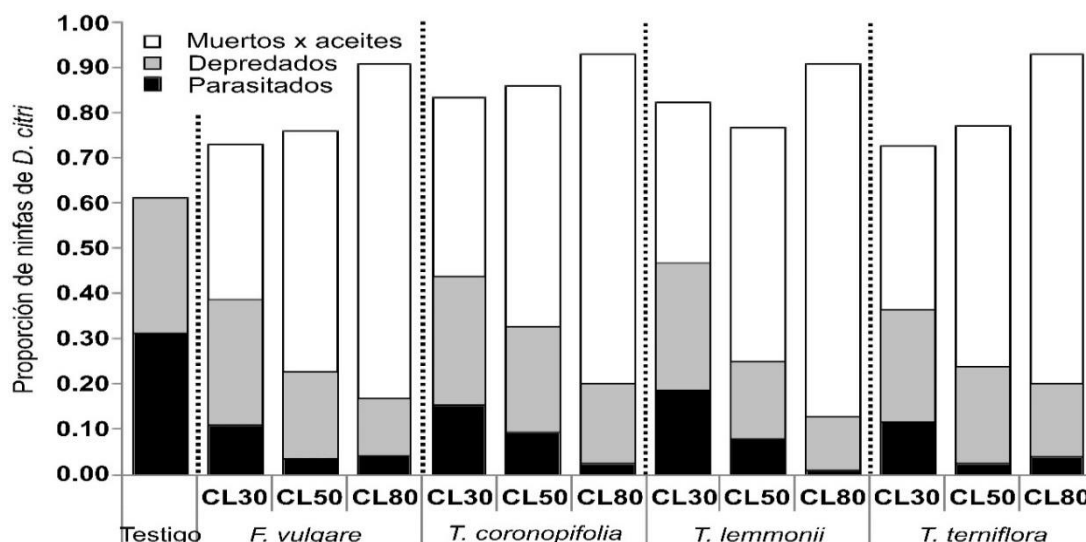


Figura 4. Proporción total de ninfas de *D. citri* muertas, depredadas y parasitadas por efecto de la concentración letal de los aceites esenciales evaluados.

El parasitoide *T. radiata* y los aceites de *T. coronopifolia*, *T. lemmonii* y *F. vulgare* son compatibles con el manejo integrado de *D. citri*, siempre y cuando las ninfas se expongan primero al parasitoide y después a la CL₃₀ de los aceites.

DISCUSIÓN

Los resultados encontrados ponen de manifiesto la factibilidad de emplear, de manera combinada, los aceites vegetales esenciales de *F. vulgare*, *T. coronopifolia*, *T. lemmonii* y/o *T. terniflora* con el parasitoide *T. radiata* como tácticas efectivas de control de *D. citri*, aunque el éxito dependerá de la densidad de parasitoides liberados, el aceite, la concentración y el momento de aplicación.

Se confirmó que *T. radiata* es un parasitoide eficiente y que el grado de parasitismo depende de la relación entre la densidad de ninfas del psílido y la densidad de parasitoides liberados. En este

estudio, el mayor parasitismo (72.52 %) se encontró cuando las ninfas se expusieron a tres parejas de *T. radiata* por 48 h. Este hallazgo coincide con lo reportado por diversos autores, quienes mencionan que *T. radiata* puede llegar a parasitar entre 34 y el 79 % de ninfas de tercer y cuarto instar de *D. citri* (Cicero-Jurado *et al.*, 2017; González-Cabrera *et al.*, 2017). Sin embargo, en algunas zonas productoras los niveles de parasitismo son insuficientes (3-26 %) para la regulación de la plaga y el HLB (Halbert y Manjunath, 2004; García-Ávila *et al.*, 2021). La eficiencia del parasitoide depende, entre otros factores, de la disponibilidad de hospederos, de la talla y edad de las ninfas y de la susceptibilidad del cultivo a la plaga, porque el parasitoide puede morir de inanición o migrar hacia áreas alternas si no encuentra suficientes hospederos para su desarrollo o alimentación. Si, por el contrario, la densidad de la plaga es alta por la susceptibilidad del cultivo, entonces se requiere de un método adicional de control selectivo para la

plaga, o incluso estrategias alternas de conservación que no alteren los componentes del control biológico (Morales *et al.*, 2013; Cortez-Madrigal, 2024).

En este contexto, los aceites de *F. vulgare*, *T. coronopifolia*, *T. lemmonii* a las 24 y 48 h, y *T. terniflora* a las 24 h fueron selectivos para adultos de *T. radiata*, puesto que la mortalidad varió de 6.2 a 34.0 % en las tres concentraciones evaluadas (Categoría 1; mortalidad < 30 % OICB) (Mata *et al.*, 2024). En cambio, la aplicación del aceite de *T. terniflora* a las 48 h y a las tres concentraciones (CL₃₀, CL₅₀ y CL₈₀) resultó ligeramente nociva (Categoría 2: 30-79 % OICB) (Mata *et al.*, 2024). Estos resultados son similares a los reportados por varios autores, quienes señalan que en general los extractos vegetales (Monsreal-Ceballos *et al.*, 2017) o el producto comercial PHC NEEM® (Luna-Cruz *et al.*, 2011; 2015) son poco nocivos a los parasitoides *T. radiata* y *T. triozae* Burks (Hymenoptera: Eulophidae), por lo que se pueden usar de manera conjunta en una estrategia de manejo de integrado. El reducido efecto de estos aceites esenciales evaluados sobre el parasitoide, posiblemente se deba a su bajo peso molecular, su alta volatilidad y su interacción con múltiples tipos de receptores (Giunti *et al.*, 2022), lo cual los hace específicos para ciertos insectos, además de su modo de acción único, así como su baja toxicidad para enemigos naturales, el hombre y otros mamíferos (Isman, 2020). El bajo o nulo efecto de los aceites evaluados en la emergencia de adultos de *T. radiata* se puede deber a la biología de la especie. Pese a ser un ectoparasitoide, este himenóptero se desarrolla desde huevo hasta pupa en la parte ventral de su hospedero; incluso, cuando la larva avanza al estado prepupal, asegura la momia a la superficie de la planta por medio de hilos de seda (Baños *et al.*, 2013). Esta característica le puede ofrecer cierta protección a las aplicaciones tópicas de insecticidas. Al respecto, se ha demostrado que los parasitoides que se desarrollan dentro del hospedero tienen cierta protección contra las aplicaciones de insecticidas (Villanueva-Jiménez y Hoy, 1998).

La factibilidad del uso combinado de cada uno de los extractos vegetales con el parasitoide en el control de *D. citri* también dependerá de la concentración y de los momentos de aplicación, como fue observado en este estudio. Conforme se incrementó la concentración de los aceites, se logró mayor mortalidad de ninfas de *D. citri*, pero se redujo de manera significativa el porcentaje de parasitismo y depredación del parasitoide. Esto fue más evidente cuando se expusieron primero las ninfas a la aplicación de los aceites y después al parasitoide. Lo anterior indica que la aplicación de los aceites afectó el proceso de aceptación en la alimentación y oviposición, con respecto al testigo, ya que como comentan Onagbola *et al.* (2009) y Vizcarra-Valdez *et al.* (2013), los parasitoides

tienen la capacidad de buscar, evaluar y seleccionar a sus hospederos mediante la presencia de sensilas placoides presentes en las antenas; es decir, tienen la habilidad de discriminar entre hospederos sanos y contaminados, al momento de seleccionar dónde realizarán la oviposición y se alimentarán (Tremblay *et al.*, 2008; Rehman y Powell, 2010; Vizcarra-Valdez *et al.*, 2013). Al respecto, Monsreal-Ceballos *et al.* (2017) encontraron que la aplicación de formulaciones comerciales de CinnAcar® (derivados de canela), Biodie® (derivados de *Argemone mexicana*, *Berberis* sp., *Ricinus communis* y *Tagetes* sp.) y Neem PHC® pueden ser compatibles con *T. radiata* para el manejo integrado de *D. citri*, ya que la exposición residual a los insecticidas no fue letal para adultos del parasitoide, pero que deben ser aplicados antes de las liberaciones de *T. radiata*, considerando que este parasitoide se alimenta en estado adulto de ninfas de *D. citri*, por lo que los tratamientos de ingestión adquieren especial importancia. Otro aspecto a considerar cuando se combinan extractos y parasitoides dentro de una estrategia de manejo integrado de *D. citri* es la composición química de los aceites o extractos, que explica en parte las diferencias encontradas entre las especies de *Tagetes* evaluadas en este estudio (Giunti *et al.*, 2022). En general, estas especies son ricas en compuestos como el alilanol y anetol, pero su abundancia y proporción es variable; además, *T. terniflora* es rica en compuestos como la Z-ocimeno, (E)-tagetona, dihidrotagetona, trans- β -ocimeno, eucaliptol, limoneno y β -cubebeno (Serrato *et al.*, 2008; 2014; Camarillo De la R. *et al.*, 2009; Díaz-Cedillo *et al.*, 2013; Mendoza-García *et al.*, 2015; Lizarraga *et al.*, 2017), compuestos que posiblemente causaron mortalidad tanto del hospedero como del parasitoide en su estado de huevo o larva, por la exposición directa o indirecta de las concentraciones altas de los aceites, aspecto estudiado ampliamente en insecticidas convencionales (Tanaka y Minakuchi, 2012).

El complejo *Diaphorina*-HLB requiere una estrategia de manejo integrado regional sustentada en un conocimiento profundo de las interacciones planta-vector-patógeno, que sea técnicamente factible y ambientalmente segura. La estrategia debe orientarse a prevenir, retardar, manejar y disminuir la presencia del vector, para así reducir la incidencia del HLB y su impacto en la producción (García-Ávila *et al.*, 2021; López *et al.*, 2022). En el manejo integrado mediante el uso combinado de extractos vegetales y parasitoides se espera que la mortalidad sea mayor o complementaria a la suma de cada táctica de control por separado, lo cual se logró al exponer primero las ninfas al parasitoide y después a la CL₃₀ del aceite esencial de aceites de *T. coronopifolia*, *T. lemmonii* y *F. vulgare*. Por tanto, los extractos evaluados en la presente investigación representan una opción viable como método de control de *D. citri*, sin causar afectaciones importantes a su parasitoide primario,

T. radiata. No obstante, es necesario evaluar en campo las concentraciones y formas de aplicación de los aceites. Además, se sugiere incluir como parte de la estrategia de manejo todas aquellas prácticas que permitan reducir cualquier tipo de daño y estrés a la planta (López *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

Los aceites esenciales extraídos de *Foeniculum vulgare*, *Tagetes coronopifolia* y *T. lemmonii* resultaron selectivos *T. radiata*, mientras que el de *T. terniflora* resultó ligeramente nocivo para el parasitoide. Al aplicar la CL₃₀ del aceite esencial de *T. lemmonii* se alcanzó la mayor proporción de ninfas parasitadas, seguida por *T. coronopifolia*, *T. terniflora* y *F. vulgare*. La mayor depredación se registró cuando se expusieron primero las ninfas al parasitoide y posteriormente a la aplicación de la CL₃₀ de los aceites. La aplicación de la CL₈₀ de los aceites inhibió la depredación del parasitoide. Una interacción complementaria ocurrió en la segunda prueba de compatibilidad (parasitoide-aceites), ya que la combinación de *T. radiata* con la aplicación de los tres aceites suprimió en 80 % o más la población de ninfas de *D. citri*. Por tanto, es factible la integración del parasitoide *T. radiata* con los aceites de *T. coronopifolia*, *T. lemmonii* y *F. vulgare* como parte de una estrategia para el manejo integrado de *D. citri*, siempre y cuando las ninfas se expongan primero al parasitoide y después a la CL₃₀ de los aceites.

Acknowledgments

Thanks are due to CONACYT for the full scholarship granted to the second author for their PhD studies.

Funding. The research project was funded by the project FONSEC-SAGARPA-CONACYT 2009-108591.

Conflicts of Interest. The authors declare no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. Due to the nature of the work, the authors have nothing to declare.

Data Availability Statement. Data presented in this study are openly available from the PhD. Laura Delia Ortega-Arenas, ladeorar@colpos.mx, upon reasonable request.

Author contribution statement (CRediT). L.D. Ortega-Arenas and E.E. Mendoza-García – Conceptualization and Methodology investigation. L.D. Ortega-Arenas – Funding acquisition. L.D. Ortega-Arenas and E.E. Mendoza-García – Writing original draft. L.D. Ortega-Arenas, E.E. Mendoza-García, J.A. Villanueva-Jiménez & M. A. Serrato-Cruz – Supervision, Writing – review

& editing. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

REFERENCES

- Abbott, W.S., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), pp. 265–267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Almada-Ruiz, V.G., Lugo-García, G.A., Ortega-Arenas, L.D., Mendoza-García, E.E., Reyes-Olivas, A. and Sánchez-Soto, B.H., 2021. *In vitro* biological activity of ethanolic extracts from plants of the Meliaceae family on *Diaphorina citri* Kuwayama 1908 (Hemiptera: Liviidae). *Mexican Journal of Biotechnology*, 6(3), pp. 19–35. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2021.6.3.19>
- Baños-Díaz, H.L., Ileana-Miranda I. and Martínez Ma. de los A., 2013. Biología y tabla de vida de *Tamarixia radiata* Waterston bajo condiciones controladas. *Revista Protección Vegetal*, 28(2), pp. 120–126. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522013000200004
- Calderón, R.G. de, y Rzedowski J., 2001. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. 2a. ed. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México. 1406 p.
- Camarillo De la R., G., Ortega-A., L.D., Serrato-C., M.A. and Rodríguez-H., C., 2009. Actividad biológica de *Tagetes filifolia* (Asteraceae) en *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 35(2), pp. 177–184. <http://dx.doi.org/10.25100/socolen.v35i2.9213>
- Cázares-A., N.P., Verde-S., M.J., López-A., J.I. and Almeida-L., I.H., 2014. Evaluación de diferentes extractos vegetales contra el psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 40(1), pp. 67–73.
- Cicero-Jurado, L., Lomas-Barrié, C.T., Loeza-Kuk, E., Sánchez-Borja, M. and Arredondo-Bernal, H.C., 2017. Control del Psílido Asiático de los Cítricos mediante el parasitoide *Tamarixia radiata* en el sureste de México. In: *Libro Científico Núm. 1*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Sureste.

- Mérida, Yucatán, México. 63 p. https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/media/librocientifico/10544736_control_del_ps%3%adlido_asi%3%altico_de_los_c%3%adtricos_mediante_el_parasitoide_Tamarixia_radiata_en_el_sureste_de_M%3%a9xico.pdf
- Cortez-Madrigal, H., 2024. Conservation of natural enemies of *Diaphorina citri* and their impact on Huanglongbing: Analysis and perspectives. *Mexican Journal of Phytopathology*, 42(2), p. 22. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2307-3>
- Díaz-Cedillo, F., Serrato-Cruz, M.A., De la Cruz-Marcial J., Sánchez-A., M.G. and López-Morales V., 2013. Compuestos mayoritarios del aceite esencial de órganos de una población de *Tagetes coronopifolia* Willd. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(4), pp. 405–411. <http://dx.doi.org/10.35196/rfm.2013.4.405>
- García-Ávila, C.J., Trujillo-Arriaga, F.J., Quezada-Salinas, A., Ruiz-Galván, I., Bravo-Pérez, D., Pineda-Ríos, J.M., Florencio-Anastasio, J.G. and Robles-García, P.L., 2021. Holistic area-wide approach for successfully managing citrus greening (Huanglongbing) in Mexico. In: *Area-Wide Integrated Pest Management: Development and Field Application*, pp. 33–49. J. Hendrichs, R. Pereira and M.J.B. Vreysen (eds.), CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. <https://doi.org/10.1201/9781003169239>
- García-Méndez, V.H., Ortega-Arenas, L.D., Villanueva-Jiménez, J.A. and Osorio-Acosta, F., 2019. Resistencia de *Diaphorina citri* Kuwayama a insecticidas en cinco Áreas Regionales de Control en México. *Southwestern Entomologist*, 44(4), pp. 947–954. <https://doi.org/10.3958/059.044.0415>
- Giunti, G., Benelli, G., Palmeri, V., Laudani, F., Ricupero, M., Ricciardi, R., Maggi, F., Andrea, L., Guedes, R. N., Desneux, N., Campolo, O., 2022. Non-target effects of essential oil-based biopesticides for crop protection: Impact on natural enemies, pollinators, and soil invertebrates. *Biological Control*, 176, pp.105071. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105071>
- González-Cabrera, J., Vizcarra-Valdez, N.I., Sánchez-González, J.A., Moreno-Carrillo, G. and Arredondo-Bernal, H.C., 2017. Evaluación de líneas silvestres e híbridas de *Tamarixia radiata* para optimizar su reproducción masiva en México. *Southwestern Entomologist*, 42(2), pp. 513–522. <https://doi.org/10.3958/059.042.0220>
- Halbert, S.E. and Manjunath K.L., 2004. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: A literature review and assessment of risk in Florida. *Florida Entomologist*, 87(3), pp. 330–353. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2004\)087\[0330:ACPSPA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2004)087[0330:ACPSPA]2.0.CO;2)
- Isman, M.B., 2020. Botanical Insecticides in the twenty-first century—Fulfilling their promise? *Annual Review of Entomology*, 65(1), pp. 233–249. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010>
- Khan, A.A., Afzal, M., Qureshi J.A., Khan A.M. and Raza A.M., 2014. Botanicals, selective insecticides, and predators to control *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in citrus orchards. *Insect Science*, 21(6), pp. 717–726. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12173>
- Lira, A.C., Zanardi O.Z., Beloti V.H., Yamamoto P.T., Parra J.R. and Carvalho G.A., 2014. Physiological selectivity of pesticides used in citrus culture on parasitoid *Tamarixia radiata* (Waterson, 1922) (Hymenoptera: Eulophidae). *Journal Citrus Pathology*, 1(1), p. 161. <https://doi.org/10.5070/C411025080>
- Lizarraga, E., Mercado, M.I., Gálvez, C., Ruiz, A.I., Ponessa, G.I. and Catalan, C.A., 2017. Caracterización morfo-anatómica y aceites esenciales de *Tagetes terniflora* y *Tagetes minuta* (Asteraceae) de Tucumán (Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 52(1), pp. 55–68. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v52.n1.16908>
- López A., J.I., Ortega A., L.D., Pérez Z., L.A. and Villanueva J., J.A., 2022. *Diaphorina citri* y Huanglongbing pp. 187–239. In: *Insectos y ácaros vectores de fitopatógenos: Estudios de caso en México*. N° 119. S. Infante G. (ed). 1a Ed. Colegio de Postgraduados-Biblioteca Básica de Agricultura. Chapingo, Texcoco, México. 311 p.
- Luna-Cruz, A., Lomeli-Flores R., Rodríguez-Leyva E., Ortega-Arenas L.D. and Huerta- de la Peña A., 2011. Toxicidad de cuatro insecticidas sobre *Tamarixia triozae* (Burks) (Hymenoptera: Eulophidae) y su

- hospedero *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae). *Acta Zoológica Mexicana*, 27(3), pp. 509–526. <https://doi.org/10.21829/azm.2011.273771>
- Luna-Cruz, A., Rodríguez-Leyva E., Lomeli-Flores J. R., Ortega-Arenas L. D., Bautista-Martínez N., Pineda S., 2015. Toxicity and residual activity of insecticides against *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae). *Journal of Economic Entomology*, 108(5), pp. 1–7. <https://doi.org/10.1093/jee/fov206>
- Mata, L., Knapp, R., McDougall, R., Overton, K., Hoffmann, A. and Umina, P., 2024. Acute toxicity effects of pesticides on beneficial organisms - Dispelling myths for a more sustainable use of chemicals in agricultural environments. *Science of The Total Environment*, 930, pp.172521. <https://doi.org/10.1101/2024.01.25.577310>
- Mendoza-García, E.E., Ortega-Arenas, L.D., Serrato-Cruz, M.A., Díaz-Cedillo, F., Villanueva-Jiménez, J.A., López-Arroyo, J.I. and Pérez-Pacheco, R., 2015. Efecto biológico del aceite de *Tagetes coronopifolia* (Asteraceae) contra *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 41, pp. 157–162.
- Mendoza-García, E.E., Ortega-Arenas, L.D., Serrato-Cruz, M.A., Villanueva-Jiménez, J.A., López-Arroyo, J. I. and Pérez-Pacheco, R., 2019. Chemical composition, toxicity, and repellence of plant essential oils against *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79, pp. 636–647. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392019000400636>
- Monsreal-Ceballos, R.J., Ruiz-Sánchez, E., Sánchez Borja, M., Ballina-Gómez, H.S., González-Moreno, A., Reyes-Ramírez, A., 2017. Efectos de insecticidas botánicos comerciales en *Tamarixia radiata*, un ectoparasitoide de *Diaphorina citri*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), pp. 589–596. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1223>
- Monzó-Ferrer, C. and P. Vanaclocha., 2022. *Diaphorina citri* (Asian citrus psyllid), CABI Compendium Datasheet 18615, CABI (Centre for Agriculture and Bioscience International). (Disponible en línea: <https://doi.org/10.1079/cabicompendum.18615> (Consulta 12 de marzo 2022)).
- Morales A., S., Martínez A.M., Figueroa, J.I., Espino A.M., Chavarrieta Y.J.M., Ortiz R., Rodríguez E., C.L. and Pineda, S., 2013. Parámetros de vida del parasitoide sinovigénico *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 39(2), pp. 243–249. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v39n2/v39n2a12.pdf>
- Nikolova I., Georgieva N. and Tahsin N., 2015. Toxicity of neem and pyrethrum products applied alone and in combination with different organic products to some predators and their population density. *Romanian Agricultural Research*, 32, pp. 291–301.
- Onagbola, E. O., Boina D.R., Hermann S.L. and Stelinsky L.L., 2009. Antennal sensilla of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). *Annals of the Entomology Society of America*, 102, pp. 523–531. <https://doi.org/10.1603/008.102.0324>
- Onagbola, E.O., Rouseff, R.L., Smoot, J.M. and Stelinski, L.L., 2011. Guava leaf volatiles and dimethyl disulphide inhibit response of *Diaphorina citri* Kuwayama to host plant volatiles. *Journal of Applied Entomology*, 135, pp. 404–414. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2010.01565.x>
- Orozco-Santos, M., Robles, M., Hernández-Fuentes, L., Velázquez-Monreal, J., Bermúdez-Guzmán, J., Manzanilla-Ramírez, M., Manzo-Sánchez, G. and Nieto-Ángel, D., 2016. Uso de aceites y extractos vegetales para el control de *Diaphorina citri* Kuwayama en lima mexicana en el trópico seco de México. *Southwestern Entomologist*, 41, pp. 1051–1066. <https://doi.org/10.3958/059.041.0405>
- Ortega-Arenas, L.D., Apáez-Barrios, M., Valdez-Carrasco J.M. and Solís-Aguilar, J.F., 2022. Repelencia e inhibición de oviposición de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) con aceites minerales en condiciones controladas. *Revista Colombiana de Entomología*, 48, pp.e11272. <https://doi.org/10.25100/Socolen.V48i1.11272>

- Payne, R.W., Baird, D.B., Cherry, M., Gilmour, A.R., Harding, S.A., Lane, P.W., Morgan, G.W., Murray, D.A., Soutar, D.M., Thompson, R., Todd, A.D., Tunnicliffe Wilson, G., Webster, R. and Welham, S.J., 2002. *GenStat Release 6.1 Reference Manual. Part 2. Directives*. Hemel Hempstead VSN International. <https://repository.rothamsted.ac.uk/item/88z4v/regression-analysis>
- Pérez-Zarate, L.A., Osorio-Acosta, F., Villanueva-Jiménez, J.A., Ortega-Arenas, L.D. and Chiquito-Contreras, R.G., 2016. Factores que inciden en el control químico de *Diaphorina citri* Kuwayama en áreas regionales de control. *Southwestern Entomologist*, 41, pp. 1037–1050. <https://doi.org/10.3958/059.041.0404>
- Qureshi, J.A., Rogers M.E., Hall D.G. and Stansly P.A., 2009. Incidence of invasive *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) and its introduced parasitoid *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in Florida citrus. *Journal of Economic Entomology*, 102, pp. 247–256. <https://doi.org/10.1603/029.102.0134>
- Rehman, A. and Powell, W., 2010. Host selection behavior of aphid parasitoids (Aphididae: Hymenoptera). *Journal of Plant Breeding Crop Science*, 2(1), pp. 299–311. <https://doi.org/10.5897/JPBCS.9000077>
- Sandoval-Reyes, F., Arriaga-Gaona M.L., Hernández-Limón L., Hernández-Romero I. y Guzmán-González F.I., 2013. Actividad biológica en campo del extracto etanólico de *Melia azedarach*, *Psidium guajava*, *Datura stramonium*, *Piper auritum* y *Azadirachta indica* A. Juss sobre la *Diaphorina citri*. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9, pp. 22–29. <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlnr/article/view/208>
- SAS Institute., 1999. *The SAS System for Windows v.9*. Carry, N.C. https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/91pdf/sasdoc_91/stat_ug_7313.pdf
- Serrato C., M.A., Díaz C., F. and Barajas P., J.S., 2008. Composición en el aceite esencial en germoplasma de *Tagetes filifolia* Lag. de la región centro-sur de México. *Agrociencia*, 42, pp. 277–285. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v42n3/v42n3a3.pdf>
- Serrato C., M.A., Díaz C., F., Hernández M.D. and Curiel R.A., 2014. Two agronomical aspects of *Tagetes terniflora* HBK for essential oil production. *Journal Agricultural Chemical Environment*, 3, pp. 9–13. <https://doi.org/10.4236/jacen.2014.31002>
- Skelley, L.H. and Hoy M.A., 2004. A synchronous rearing method for the Asian citrus psyllid and its parasitoids in quarantine. *Biological Control*, 29, pp.14–23. <https://doi.org/10.4236/jacen.2014.31002>
- Smith, J.S. and Olson J.K., 1982. A portable chill table for immobilizing live mosquitoes. *Mosquito News*, 42, pp. 113–114. https://www.biodiversitylibrary.org/content/part/JAMCA/MN_V42_N1_P113-114.pdf
- Tanaka, T. and Minakuchi Ch., 2012. Insecticides and Parasitoids. *Insecticides Advances in Integrated Pest Management*. InTech. <https://doi.org/10.5772/28598>
- Thakuria D., Chaliha Ch., Dutta P., Sinha S., Uzir B., Singh S.B., Hazarika S., Sahoo L., Dinesh K., 2023. Citrus Huanglongbing (HLB): Diagnostic and management options. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 125, pp.102016. <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2023.102016>
- Tremblay, E., Bélanger A., Brosseau M. and Boivin G., 2008. Toxicity and sublethal effects of an insecticidal soap on *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae). *Pest Management Science*, 64, pp. 249–254. <https://doi.org/10.1002/ps.1514>
- Villanueva-Jiménez J.A. and Hoy M.A., 1998. Toxicity of pesticides to the citrus leafminer and its parasitoid *Ageniaspis citricola* evaluated to assess their suitability for an IPM program in citrus nurseries. *BioControl*, 43, pp. 357–388. <https://doi.org/10.1023/A:1009901511863>
- Vizcarra-Valdez, N.I., Sánchez-González J.A., González-Cabrera J. and Arredondo-Bernal H.C., 2013. Determinación de la preferencia de alimentación de *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae) sobre su huésped. pp: 194–199. In: Vásquez L. A. y Pérez-Pacheco R. (eds.). XXXVI Congreso Nacional de Control Biológico. Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR)-IPN Unidad Oaxaca, México. <https://www.researchgate.net/publication/266138373>

Zaka, S.M., Zeng Z.N., Holford P. and Beattie G.,
A.C., 2010. Repellent effect of guava leaf
volatiles on settlement of adults of citrus

psylla, *Diaphorina citri* Kuwayama, on
citrus. *Insect Science*, 17, pp. 39–45.
[https://doi.org/10.1111/j.1744-
7917.2009.01271.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2009.01271.x)