



Artículo de revisión

Conservación de enemigos naturales de *Diaphorina citri* y su impacto en Huanglongbing: Análisis y perspectivas

Hipolito Cortez-Madrigal*, Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR, Michoacán. Justo Sierra # 28, Col. Centro, Ji-quilpan, Mich. CP 59510.

RESUMEN

Resumen. *Diaphorina citri* es un importante vector de *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLAs), agente causal del HLB, la enfermedad más devastadora de los cítricos. Aunque se reconoce la importancia del control biológico, los insecticidas son la principal herramienta de control. Sin embargo, su empleo debería ser cauteloso, pues pudiera interferir con el control de plagas reguladas biológicamente. *Diaphorina citri* cuenta con un amplio abanico de enemigos naturales; sin embargo, solo se aprovecha de forma inundativa al parasitoide *Tamarixia radiata* y algunas especies de hongos entomopatógenos. Aunque los principales depredadores del vector ocurren de manera natural, pocos estudios abordan su conservación *in situ*. Esta revisión abona a la idea de que la conservación de enemigos naturales debería ser base del manejo integrado de *D. citri* y de CLAs. Se propone la conservación de hospederos alternos, la inclusión de plantas nectaríferas, conservación de parasitoides *in situ*, y la autodiseminación de hongos entomopatógenos. Se analizan y discuten estudios sobre conservación de enemigos naturales desarrollados en *D. citri* y plagas cercanas, su probable impacto en la enfermedad, y perspectivas de implementación en México. Las estrategias propuestas pudieran potenciar, no solo el control biológico de *D. citri*-CLAs, sino también la autorregulación de plagas de cítricos en general.

Palabras clave: Psílido asiático de los cítricos, biocontrol, *Tamarixia radiata*, hongos entomopatógenos, conservación.

INTRODUCCIÓN

Con más de 600 000 ha y una producción superior a los 8 millones de t en 2021, México se ubica como uno de los principales productores de cítricos. La derrama

*Autor de
correspondencia:
Hipolito Cortez-Madrigal
hcortezm@ipn.mx

Sección:
Edición periódica

Recibido:
30 Julio, 2023
Aceptado:
21 Marzo, 2024
Publicado:
11 Abril, 2024

Cita:
Cortez-Madrigal H. 2024.
Conservación de enemigos
naturales de *Diaphorina
citri* y su impacto en
Huanglongbing: Análisis
y perspectivas. Revista
Mexicana de Fitopatología
42(2): 22.
[https://doi.org/10.18781/R.
MEX.FIT.FIT.2307-3](https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.FIT.2307-3)



económica generada alcanzó cerca de 35 millones de pesos (SIAP, 2022), lo que demuestra la importancia de esos cultivos en el sector económico del país. Su producción se encuentra distribuida en 24 de los 32 estados que conforman el país; desde la península de Yucatán, hasta Tamaulipas por el Golfo de México; y desde Chiapas, hasta Sonora y la península de Baja California por el Pacífico (Salcedo-Baca *et al.*, 2010; García-Ávila *et al.*, 2021). Sin embargo, en el mundo los cítricos enfrentan una amplia problemática fitosanitaria; que, a diferencia de otros cultivos, en ellos ocurren casos exitosos de control biológico clásico. *E.g.*, en México, la escama algodonosa de los cítricos (*Icerya purchasi*) mediante la catarinita *Rodolia cardinalis* y la mosca prieta (*Aleurocanthus woglumi*), regulada por el parasitoide *Encarsia perplexa*, entre otras (Trevor *et al.*, 2013).

Lo anterior hace que los cítricos sean un cultivo especial, pues a diferencia de otros donde el control químico es base fundamental del manejo de plagas, en cítricos los plaguicidas deben ser utilizados con mayor cuidado. Su abuso pudiera perturbar el equilibrio ecológico logrado, y eventualmente favorecer el resurgimiento de plagas de importancia (Qureshi y Stansly, 2009) como las arriba mencionadas.

En los últimos años se han registrado nuevas invasiones de plagas exóticas en México, donde destaca el “psílido asiático de los cítricos”, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Leptotetrinae), que junto con *Trioza erytreae* (Hemiptera: Triozidae), es uno de los vectores de *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas), agente causal de la enfermedad Huanglongbing (HLB). Después de la introducción del psílido en 2002, el HLB fue registrado por primera vez en 2009 en Yucatán; desde entonces, la enfermedad se ha distribuido a diferentes regiones hasta cubrir 24 estados citrícolas (García-Ávila *et al.*, 2021). Los riesgos de la presencia del patosistema *D. citri*-CLas en la citricultura mexicana (Salcedo-Baca *et al.*, 2010) motivaron al desarrollo de estrategias de manejo integrado, donde destaca el control químico, y de manera complementaria, el biológico (García-Ávila *et al.*, 2021).

En México, el psílido cuenta con una amplia diversidad de enemigos naturales (EN), incluido uno de sus parasitoides primarios, *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) (Cortez-Mondaca *et al.*, 2010; Mora-Aguilera, 2013). Este insecto se encuentra ampliamente distribuido en las zonas citrícolas de México; sin embargo, los niveles de parasitismo son insuficientes (3-26 %) para la regulación natural de la plaga y de CLas (Halbert y Manjunath, 2004; García-Ávila *et al.*, 2021). Para potenciar el control biológico (CB) de *D. citri* y reducir el riesgo de dispersión de CLas, el gobierno mexicano ha hecho esfuerzos para establecer un programa de control biológico inundativo (CBI) mediante el parasitoide *T. radiata* en las regiones citrícolas del país (García-Ávila *et al.*, 2021). Aunque la literatura científica señala la importancia de la conservación de EN en el manejo de *D. citri*, son pocos los estudios desarrollados en el mundo (Qureshi y Stansly, 2009; Irvin *et al.*, 2021; Irvin y Hoddle, 2021), mientras que en México la investigación documentada es incipiente (Godoy-Ceja y Cortez-Madriral, 2018).

Bajo el supuesto de que el manejo integrado de plagas (MIP) debe descansar en la conservación de EN, y el empleo de insecticidas solo cuando la población plaga alcance un umbral económico (UE), el objetivo del presente escrito es analizar el estatus del manejo del patosistema *D. citri*-CLas en el mundo, pero particularmente en México. Con base en ello, proponer estrategias de conservación que puedan ir más allá del control biológico de *D. citri*; es decir, la regulación de otros fitófagos de los cítricos (incluidas plagas).

El agroecosistema citrícola en México

Los cítricos cultivados son originarios del Sureste asiático, donde evolucionaron por alrededor de 8 millones de años (Ibanez *et al.*, 2015). Conocer el centro de origen de un cultivo es primordial para el manejo de plagas exóticas, pues eventualmente se requerirá la exploración e importación de EN desde su lugar de origen. A través de su historia productiva, los cítricos en México han sido frecuentemente afectados por diversas plagas exóticas, varias de ellas reguladas exitosamente mediante programas de control biológico clásico (Trevor *et al.*, 2013).

La producción citrícola en México se localiza en 24 de los 32 estados del país (García-Ávila *et al.*, 2021), regiones con amplias diferencias edafoclimáticas y culturales, relacionadas ambas con el diseño y manejo del agroecosistema, incluido el patosistema *D. citri*-CLas. Así, los vientos y la dispersión de las huertas marcaron la diferencia en la intensidad del HLB entre las regiones citrícolas del Pacífico mexicano y la Península de Yucatán (Mora-Aguilera, 2013).

Al igual que otros productores, los citricultores mexicanos tienen características distintivas entre ellos, por lo que debería considerarse su tipología; entendida como la caracterización de productores con base en superficie, tecnología y nivel educativo, entre otras (Rosales-Martínez *et al.*, 2018). Lo anterior facilitaría la implementación de diversos programas; *e.g.*, la conservación de EN. Así, la situación socioeconómica y cultural de pequeños productores induce a establecer plantaciones con diferentes características; *e.g.*, grados de diversificación; desde plantaciones con tolerancia de malezas y asociación con otros cultivos (Península de Yucatán); hasta los policultivos, como el sistema café-plátano-cítrico practicado en algunas regiones del estado de Veracruz (Aguilar *et al.*, 2014). Lo anterior contrasta con los monocultivos extensivos en diferentes regiones del país (*e.g.* Huimanguillo, Tabasco). Son modelos agrícolas contrastantes en diseño y manejo; por ejemplo, el uso de plaguicidas, aspecto determinante para la implementación de estrategias de Control Biológico por Conservación (CBPC) (Gurr y You, 2016).

Aunque existen plantaciones con sistemas de riego, la mayor parte de la citricultura mexicana (63 %) es de temporal (García-Ávila *et al.*, 2021). No obstante, algunas regiones reúnen condiciones favorables para la prevalencia de EN; *e.g.*,

en Rovirosa, Quintana Roo, la alta humedad relativa favoreció el desarrollo de epizootias naturales del hongo *Hirsutella citriformis* en *D. citri* (Mora-Aguilera *et al.*, 2017), lo que sugiere que los hongos entomopatógenos (HEPs) pudieran ser una herramienta clave para el manejo del complejo *D. citri*-CLas en esas regiones.

El patosistema cítrico-*Diaphorina citri*-CLas

En 2002 se introdujo a México *D. citri*, actualmente distribuido en todas las zonas cítricas del país (García-Ávila *et al.*, 2021). Además de los daños directos que causa en los cítricos, *D. citri* es vector de α -Proteobacterias, G-negativas del género *Candidatus Liberibacter* spp. agente causal del HLB (Galdeano *et al.*, 2020). Se encuentran involucradas tres especies: *CL. africanus*, *CL. americanus* y *CL. asiaticus*. Esta última es la más prevalente en el mundo (Thakuria *et al.*, 2023). Los daños y pérdidas por HLB son variables entre país, región y hospedero; así, en Brasil las pérdidas en naranja dulce fluctuaron del 17.5-42 %; mientras que, en México las pérdidas varían de acuerdo con el cultivo y región; desde 17 % para limón persa en Yucatán, hasta 62 % para limón mexicano en Colima (Mora Aguilera *et al.*, 2014). En un escenario de baja intensidad del HLB en México, se estiman pérdidas de 1.84 millones de t de cítricos; o sea, el 25 % de la producción nacional, con pérdidas de 4 millones de jornales (Salcedo *et al.*, 2010).

La idea de “epidemia” como un desequilibrio entre poblaciones puede aplicarse al patosistema cítricos-*D. citri*-CLas, donde el conocimiento de su biología y ecología puede ser la diferencia entre el éxito o fracaso de programas de manejo. Como guía se pudiera aplicar el concepto de “sistema epidemiológico”, concebido éste como un sistema abierto de *n*-factores que opera en tiempo y espacio para determinar la incidencia de una epidemia (Figura 1) (Mora-Aguilera *et al.*, 2017).

Para *D. citri*, la temperatura óptima fluctúa entre 25-28 °C y su desarrollo se detiene entre los 10 y 33 °C (Liu y Tsai, 2000). Las hembras dejaron de ovipositar cuando la temperatura se mantuvo durante cinco días a 34 °C; una vez se redujo la temperatura, los adultos nuevamente iniciaron la ovipostura (Skelley y Hoy, 2004). Por su parte, CLas no tolera temperaturas >35 °C (Thakuria *et al.*, 2023). El número de huevos por hembra de *D. citri* fue menor cuando la humedad relativa se mantuvo por debajo de 40 % (Skelley y Hoy, 2004).

Por otro lado, la humedad tiene un efecto indirecto en *D. citri*, pues favorece la prevalencia de HEPs que reducen las poblaciones del insecto (Aubert, 1987). Una interacción entre precipitaciones pluviales leves y altas temperaturas, favorecieron indirectamente las poblaciones de *D. citri* al inducir mayor brotación foliar en los árboles, aspecto correlacionado directamente con las poblaciones del vector e incidencia del HLB (Leong *et al.*, 2020). El viento es otro factor clave en la dispersión de *D. citri* y CLas. Se ha documentado que el psílido puede volar hasta 2.4 km en

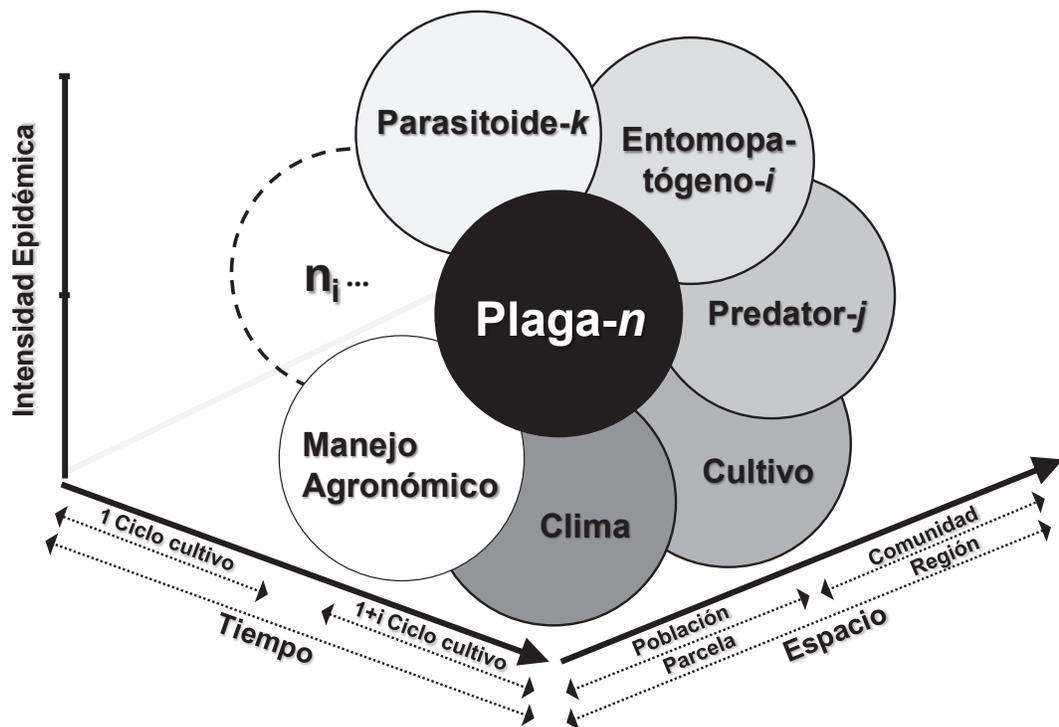


Figura 1. Sistema Epidemiológico definido por la interacción de factores determinantes de un proceso epidémico: especie plaga, entomopatógeno, depredador (predator) y parasitoide, cultivo, manejo agronómico, clima, y algún otro factor específico (n_i) y los cuales operan a distintos niveles espacio-temporal (Tomado de Mora-Aguilera *et al.*, 2017).

ausencia de viento. En presencia de vientos, algunas estimaciones sugieren que el insecto pudiera dispersarse hasta 4 km (Mora-Aguilera, 2013) e incluso 470 km (Stelinski, 2019). Bajo ese escenario, las corrientes de viento fue uno de los factores que favorecieron la rápida dispersión del HLB en México (Mora *et al.*, 2013).

Los adultos hibernantes de *D. citri*, especialmente las hembras, sobreviven por más tiempo (8-9 meses) y congregan en el envés de las hojas. Las ninfas son sedentarias, pero las recién emergidas pueden migrar hacia brotes vecinos o moverse dentro del mismo brote, pero nunca hacia hojas maduras (Yang *et al.*, 2006). Un aspecto de interés para el manejo ecológico del vector y CLas es que tanto machos como hembras se aparean múltiples veces con diferentes parejas, y existen evidencias de que la hembra emite una feromona sexual para atraer a su pareja (Wenninger y Hall, 2008). La producción de huevos en *D. citri* es variable; *e.g.*, en función del hospedero. Así, Tsai y Liu (2000) obtuvieron una media de 857.9 huevos en toronja, mientras que Nava *et al.* (2007) registraron 348.4 huevos en *Murraya paniculata*.

Los huevos de *D. citri* son depositados exclusivamente en brotes vegetativos y las ninfas solo se desarrollan en ellos; así, su fluctuación poblacional se correlacionó

positivamente con esos periodos fenológicos (Leong *et al.*, 2020). El mayor daño de *D. citri* suele ocurrir con la brotación foliar de otoño (Yang *et al.*, 2006; Godoy-Ceja y Cortez-Madrigal, 2018). Bajo condiciones tropicales como la India, pueden ocurrir hasta nueve generaciones. Con base a temperatura, días favorables al psílido y superficie plantada, estimaciones para México sugieren desde 15 hasta 34 generaciones anuales (Díaz-Padilla *et al.*, 2014). *Diaphorina citri* es fuertemente atraído por el color amarillo (Patt *et al.*, 2015).

La relación *D. citri*-CLas es de tipo propagativo-circulativo (Galdeano *et al.*, 2020) y una vez adquirido el patógeno, el insecto permanece infectivo durante su vida; sin embargo, no se ha registrado transmisión transovarial (Halbert y Manjunath, 2004). De acuerdo con Inoue *et al.* (2009), los insectos que adquieren la bacteria en estado adulto muestran una pobre eficiencia como vectores; en cambio, los que adquieren el patógeno en estado ninfal son más eficientes como vectores. La baja concentración de bacterias en el insecto adulto fue causa de la baja transmisión a la planta; en cambio, cuando el psílido se alimenta en estado ninfal en una planta enferma, la concentración de la bacteria incrementa significativamente y se transmite hasta en 67 % de las plantas sanas. El periodo de incubación de CLas en el hospedero puede ser hasta de seis meses (Aleman *et al.*, 2007).

Se ha comprobado que CLas requiere de aminoácidos que obtiene de la planta hospedera y de *D. citri*. Existen amplias evidencias de que CLas puede manipular el comportamiento y desempeño del vector, y así incrementar la transmisibilidad y dispersión del patógeno. Lo anterior ocurre tanto dentro del vector, como por intermediación de la planta infectada. Los vectores positivos tienen mayor fertilidad, fecundidad, y tasa de desarrollo; en cambio, la sobrevivencia se reduce. De cualquier modo, CLas favorece el incremento de poblaciones positivas de *D. citri* (Yamada *et al.*, 2019).

Otros aspectos interesantes de la relación cítrico-*D. citri*-CLas es que los insectos adultos positivos muestran mayor capacidad de vuelo que los psílicos negativos. Su preferencia por los volátiles en plantas enfermas es evidente; sin embargo, una vez infectados, los insectos se dispersan hacia plantas sanas (Yamada *et al.*, 2019); lo anterior, y el hecho de que las hembras evitan brotes infestados por el insecto, favorece la dispersión de la enfermedad. El psílido se distribuye, primero en agregados; después, en forma aleatoria y luego, nuevamente en agregados (Leong *et al.*, 2020). La manipulación por CLas llega incluso hasta el apareamiento; *e.g.*, los machos de *D. citri* mostraron mayor atracción por hembras positivas que por las sanas. También, el parasitoide *T. radiata* es mayormente atraído por plantas enfermas (Yamada *et al.*, 2019).

El sistema inmune del psílido también es alterado por CLas. En adultos positivos, la concentración de oxidasas y esterases se reduce significativamente. Estas enzimas son fundamentales para la detoxificación de insecticidas; por tanto, insectos

positivos son más susceptibles a insecticidas; incluso, a los HEPs (Yamada *et al.*, 2019). Lo anterior tiene implicaciones prácticas en la conservación de EN; por ejemplo, utilizar HEPs, o dosis mínimas de insecticidas dirigidas a insectos positivos; así, se causaría menor daño a los EN.

Al igual que otros vectores, el sistema inmune de *D. citri* es incompleto; así, los endosimbiontes asociados al insecto contribuyen con la producción de metabolitos de defensa contra invasores; *e.g.*, CLas y EN (Yamada *et al.*, 2019). Al respecto, en psílicos positivos se incrementó la producción de “diaphorin”, un policétido que tiene efectos tóxicos para insectos; y por lo tanto, pudiera limitar la actividad de algunos EN del psílido, como el coccinélido *Harmonia axyridis* (Galdeano *et al.*, 2020). No se registraron investigaciones que dilucidan esas interacciones; *e.g.*, niveles de parasitismo de *T. radiata* en psílicos positivos.

Para *D. citri* se han registrado 59 especies hospederas de la familia Rutaceae (Halbert y Manjunath, 2004). Además, el psílido puede alimentarse en *Celtis* spp. y *Solanum tuberosum* (Stelinski, 2019). Recientemente se reportó la planta *Cordia myxa* (Boraginaceae) como hospedera de *D. citri* (Arshad *et al.*, 2019), lo que sugiere que el psílido (y probablemente CLas) pudiera tener hospederas no registradas previamente, particularmente en regiones de reciente introducción del complejo *D. citri*-CLas.

Mediante injertos se demostró la susceptibilidad a CLas de casi todos los cítricos cultivados. *Citrus sinensis* suele ser la especie más susceptible, mientras que *C. aurantiifolia* la más tolerante (Thakuria *et al.*, 2023). Especies ornamentales de *Murraya* spp. son también hospederas de CLas. Aunque *M. paniculata* puede funcionar como hospedero puente en la diseminación de CLas, la excepcional dilución de la bacteria después de cinco meses sugiere que esa especie es poco importante como hospedera de CLas (Damsteegt *et al.*, 2010). En contraste, *M. koenigii* fue tolerante a CLas, por lo que se sugiere su empleo como planta trampa (Beloti *et al.*, 2018).

También, mediante *Cuscuta* spp. se logró transmitir CLas a plantas fuera de la familia Rutaceae; *e.g.*, *Catharanthus roseus* (Apocynaceae) y diferentes plantas solanáceas. En *Pithecolobium lucidum* (Fabaceae) se registró CLas aun cuando no se registraron psílicos (Thakuria *et al.*, 2023). En adición, en *Cleome rutidosperma* (Capparaceae), *Pisonia aculeata* (Nyctaginaceae) y *Trichostigma actandrum* (Phytolaccaceae) se detectó CLas mediante PCR, sin registros de psílicos ni síntomas del HLB (Brown *et al.*, 2014).

En el 2010 se registraron adultos de *D. citri* en tricomas glandulares de *Sicydium tannifolium* (Cucurbitaceae) sobre plantas de *M. paniculata* en Chetumal, Q.R., México. La especie se distribuye solo por la vertiente del Golfo de México y Chiapas (Lira, 2004). Aunque se desconoce su papel como hospedera de *D. citri*, esas observaciones preliminares sugieren que *S. tannifolium* pudiera aprovecharse

como planta trampa para *D. citri* y otras plagas. Sin embargo, es necesario dilucidar los pros y contras de su uso; *e.g.*, interferencia con el control biológico, interferencia con el cultivo, probable reservorio de plagas, economía.

Manejo de *Diaphorina citri*-CLas

Una vez que CLas infecta a su hospedante es difícil eliminarlo, aun cuando numerosos estudios demuestran posibilidades de control; por ejemplo, mediante control cultural, químico y biológico; termoterapia, inductores de defensa, y manipulación genética para la resistencia (Thakuria *et al.*, 2023). Sin embargo, en la práctica el manejo del HLB incluye medidas preventivas; entre otras, producción de plantas sanas (Yang *et al.*, 2006), erradicación de plantas enfermas y control legal (García-Ávila *et al.*, 2021); pero fundamentalmente mediante el control del vector (Yang *et al.*, 2006; García-Ávila *et al.*, 2021). Aunque se propone el manejo integrado de *D. citri*, la mayor atención se centra en control químico (Qureshi y Stansly, 2007; Parra y Coelho, 2019), y el biológico solo de manera complementaria (Etienne *et al.*, 2001; Salcedo-Baca *et al.*, 2010). Sin embargo, cuando está presente CLas en huertas comerciales, el control químico es el recomendado (Parra y Coelho, 2019; García-Ávila *et al.*, 2021). Después de la introducción del complejo *D. citri*-CLas en Brasil, las aplicaciones de insecticidas se incrementaron >600 % (Parra *et al.*, 2016). Visto así, el control químico pudiera tener un impacto detrimental en el ambiente y en las poblaciones de EN (Qureshi y Stansly, 2009; Monzó y Stansly, 2020). Para vectores de enfermedades el UE es prácticamente ausencia de plaga. *E.g.*, la tasa de transmisión de CLas por adultos de *D. citri* a plantas de *Citrus depressa* se estimó en 8.5 % cuando se introdujo un adulto por planta, con un período de acceso a la inoculación de dos semanas (Ukuda-Hosokawa *et al.*, 2015). Se han propuesto solo algunos UE para su control; así, en Florida se sugieren cinco adultos y tres ninfas/brote (Halbert y Manjunath, 2004); ó, 0.2-0.7 adultos/brote y 0.2 adultos/trampa (Monzo y Stansly, 2015). En México, un UE propuesto es un adulto/trampa (Yzquierdo-Álvarez, 2021).

Diaphorina citri cuenta con un amplio abanico de EN, tanto depredadores, parasitoides como entomopatógenos (Yang *et al.*, 2006; Qureshi y Stansley, 20007), los que presumiblemente deberían reducir también la incidencia y prevalencia de la enfermedad.

Entomófagos. En el mundo se tienen registros de 95 especies de artrópodos (arácnidos e insectos) dentro de nueve ordenes y 23 familias (Kondo *et al.*, 2015), con un impacto variable en *D. citri*. Por ejemplo, en Arabia Saudita el Orden Araneae contribuyó hasta con 33.6 % en la reducción del vector (Halbert y Manjunath, 2004). En Florida, los depredadores contribuyen hasta con 100 % del control de *D. citri*

(Quereshi *et al.*, 2009). Incluyen especies de Araneae, Hemerobiidae, Syrphidae y Anthocoridae; aunque destacaron los coccinélidos, *H. axyridis*, *Olla v-nigrum* y *Cycloneda sanguinea* (Michaud, 2004). En Colombia se registraron 16 especies de EN de seis familias y cinco ordenes que inciden en *D. citri* (Kondo *et al.*, 2015). Contrariamente, las altas aplicaciones de insecticidas en Brasil limitaron el impacto de los depredadores en el CB del psílido (Parra *et al.*, 2016). En México se registran 20 especies de entomófagos incluidos en las familias Coccinellidae, Chrysopidae, Anthocoridae y Vespidae, con mayor prevalencia de las dos primeras. También, se han aislado de *D. citri* HEPs como *Beauveria bassiana* e *Hirsutella citriformis* (Cuadro 1).

La mayor atención en control biológico de *D. citri* ha sido mediante la introducción de sus parasitoides, *T. radiata* y *Dyaphorencyrtus aligarhensis* (Hymoptera:

Cuadro 1. Enemigos naturales asociados a *D. citri* en huertas citrícolas de México.

Familia/Especie	Referencia
Coccinellidae	
<i>H. axyridis</i>	Mora-Aguilera, 2013
<i>O. v-nigrum</i>	
<i>C. sanguinea</i>	Cortez-Mondaca <i>et al.</i> , 2010
<i>Chilocorus cacti</i>	Mora-Aguilera, 2013
<i>Hippodamia convergens</i>	
<i>Scymnus</i> sp.	
<i>Arawana</i> sp.	Lozano-Contreras y Jasso-Argumedo, 2012
<i>Azya orbigera</i>	
<i>Delphastus</i> sp.	
<i>Zagloba</i> sp.	
Chrysopidae	
<i>Ceraeocrhysa</i> sp.	Lozano-Contreras y Jasso-Argumedo, 2012
<i>C. cubana</i>	
<i>C. claveri</i>	
<i>C. valida</i>	
<i>C. everes</i>	
<i>Chrysoperla rufilabris</i>	Cortez-Mondaca <i>et al.</i> , 2010
<i>Ch. comanche</i>	
<i>Chrysoperla</i> sp.	Mora-Aguilera, 2013
Anthocoridae	
<i>Orius</i> spp.	Cortez-Mondaca <i>et al.</i> , 2011
Eulophidae	
<i>T. radiata</i>	
Encyrtidae	
<i>Diaphorencyrtus</i> spp.	
Globorotallidae	
<i>H. citriformis</i>	Mora-Aguilera <i>et al.</i> , 2017
Clavicitaceae	
<i>B. bassiana</i>	

Encyrtidae) (Halbert y Manjunath, 2004), aunque la mayor atención se ha centrado en el primero. Sin embargo, sus niveles de parasitismo han sido variables; desde 28.9-36.4 % en Taiwan (Chiu *et al.*, 1988), hasta 100 % en la isla Reunión, Francia (Etienne *et al.*, 2001).

En Florida, *T. radiata* es un factor de mortalidad poco importante de *D. citri*, con niveles < 20 % en primavera-verano; aunque en otoño alcanza niveles del 39-56 % (Quereshi *et al.*, 2009). En Puerto Rico, Pluke *et al.* (2008) reportaron niveles de parasitismo del 70-100 %; mientras que, en Sinaloa, México se registró hasta 59.6 % de parasitismo natural (Cortez-Mondaca *et al.*, 2010). La eficiencia de *T. radiata* es fuertemente limitada por la presencia de hiperparasitoides (Aubert, 1987), uso de plaguicidas (Diniz *et al.*, 2020), ausencia de hospederos en periodos críticos (Leong *et al.*, 2020), y ausencia de néctar y polen (Irvin y Hoddle, 2021).

Dada la variabilidad en el parasitismo de *T. radiata*, el mayor esfuerzo se ha centrado en la cría y liberación masiva (Parra *et al.*, 2016; Flores y Ciomperlik, 2017; García-Ávila *et al.*, 2021). Sin embargo, en huertos comerciales la estrategia es incompatible con los plaguicidas (Diniz *et al.*, 2020). Así, el control biológico solo se practica en huertos de traspatio, zonas urbanas y en plantaciones abandonadas, con evidencias científicas de reducir la incidencia de *D. citri* y del HLB en huertas comerciales (Parra *et al.*, 2016; Diniz *et al.*, 2020; García-Ávila *et al.*, 2021). *E.g.*, en Texas, EE. UU. después de liberar *T. radiata* se redujo el vector en > 91 % (Flores y Ciomperlik, 2017). En países como Brasil se alcanzaron niveles de parasitismo del 72.5 % después de la liberación del parasitoide (Parra *et al.*, 2016). En México se menciona que el parasitismo natural de *T. radiata* (3-26 %) se incrementó hasta 85 % después de liberaciones masivas (García-Ávila *et al.*, 2021).

Hongos entomopatógenos. Destacan las especies *H. citriformis*, *B. bassiana* (Pardulla y Alves, 2021), *Isaria fumosorosea* (Gallou *et al.*, 2016) y *Metarhizium anisopliae* (Ayala-Zermeño *et al.*, 2015). Sin embargo, solo *H. citriformis*, *B. bassiana* e *I. fumosorosea* (= *Paecilomyces fumosoroseus*) se han aislado del insecto (Halbert y Manjunath, 2004; Meyer *et al.*, 2008; Mora-Aguilera *et al.*, 2017). Los HEPs han sido mayormente evaluados como estrategia inundativa (*i.e.* aspersión); en Brasil, su empleo en campo alcanzó niveles de 57.8 y 96.1 % de mortalidad, lo que estuvo directamente relacionado con la humedad, e inversamente con la temperatura (Saldarriaga-Ausique *et al.*, 2017).

En México, los HEPs constituyen una herramienta importante contra *D. citri* y CLas en huertas comerciales de cítricos (García-Ávila *et al.*, 2021). Después de evaluar *Cordyceps bassiana*, *M. anisopliae* e *I. fumosorosea* en Colima, México, la mayor mortalidad en ninfas (60 %) y adultos (50 %) se obtuvo con *C. bassiana* (Lezama-Gutiérrez *et al.*, 2012). En condiciones de campo *I. javanica* (= *fumosorosea*) alcanzó una mortalidad del 66-81.8 % (Gallou *et al.*, 2016).

Los HEPs pueden también colonizar los tejidos de las plantas. Bamisile *et al.* (2021) determinaron la capacidad endofítica de *B. bassiana* e *I. fumosorosea*, donde solo el primero colonizó los tejidos de cítricos. Siete días después de inoculados, la mortalidad en adultos de *D. citri* fue de 10-15 %, y mostró una reducción significativa de huevecillos depositados por hembras alimentadas en plantas tratadas.

Más allá del control biológico del patosistema *D. citri*-HLB: la conservación de enemigos naturales

Existe la idea de que, una vez establecido CLAs, el control biológico (CB) de *D. citri* es irrelevante para el manejo del HLB (Helbert y Manjunath, 2004; Yang *et al.*, 2006), y esto pudiera ser cierto cuando se piensa el CB que emula al control químico; es decir, reducir drásticamente la población plaga. Sin embargo, si ignoramos el paradigma convencional y atomístico del control de plagas y del control biológico inundativo (CBI) derivado de él, podremos visualizar un fenómeno natural de autorregulación de poblaciones; tan poderoso, que el control biológico por conservación (CBPC) debería considerarse como base del MIP.

El CBPC incluye todas aquellas medidas dirigidas a la modificación del ambiente y al manejo de plaguicidas para favorecer la conservación e incremento de EN (Gurr y You, 2016). El CBPC es la estrategia más importante del CB, pero también la menos atendida (Cortez-Madrigal y Gutiérrez-Cárdenas, 2023). Lo anterior debido a que el paradigma agrícola moderno se ha diseñado con fines productivistas, no para la conservación de organismos benéficos. Diversas estrategias son planteadas para su conservación; entre otras, el manejo de plaguicidas; dispositivos para la conservación e incremento de parasitoides *in situ* (Kehrli *et al.*, 2005); provisión de alimento alternativo como néctar, polen (Gurr y Wratten, 1999; Gurr y You, 2016) y hospederos alternos (Cortez-Madrigal y Gutiérrez-Cárdenas, 2023).

Cuando en un cultivo falta alimento alternativo para EN, éstos se desplazan a lugares donde lo puedan obtener, lo que desfavorece la presencia de poblaciones funcionales de EN (Cortez-Madrigal y Gutiérrez-Cárdenas, 2023); o que su presencia se retrase tanto, que el CB llega a ser ineficiente (Doutt y Nakata, 1973). La situación anterior puede modificarse mediante un rediseño del agroecosistema que favorezca el establecimiento permanente de parasitoides, depredadores y entomopatógenos antes de que arribe la plaga; pero no solo de EN conformados por insectos y ácaros, sino también del conjunto de organismos que participan en la autorregulación de poblaciones en los ecosistemas; esto es, el CBPC desde una visión amplia: “más allá del control biológico” (Cortez-Madrigal y Gutiérrez-Cárdenas, 2023).

Aunque se ha demostrado el valor económico del CBPC en la regulación poblacional de *D. citri* (Monzó y Stansly, 2020), pocos estudios se han documentado

(Irvin *et al.*, 2021; Irvin y Hoddle, 2021). Algunas estrategias de conservación de EN evaluadas en *D. citri* o en plagas relacionadas, son: flora nectarífera, hospederos alternos de EN, dispositivos para la conservación e incremento de parasitoides *in situ*, dispositivos para la conservación, y la autodiseminación de entomopatógenos.

A diferencia del CB clásico e inundativo, el CBPC suele ser más barato; incluso, puede potenciar las otras dos estrategias del CB. Se ha argumentado, por ejemplo, que las fallas de diversos programas de CB clásico se debe, probablemente, a la ausencia de hospederos alternos que sostuvieran en determinados periodos a los EN recientemente introducidos (Gurr y Wratten, 1999). ¿Podría ser el caso de *T. radiata*?

Si las condiciones del agroecosistema fuesen favorables para el establecimiento de EN, el control biológico inundativo también se pudiera potenciar con un menor número de liberaciones. A la propuesta que integra el CB clásico, inundativo y por conservación, se le ha denominado “control biológico integrado” (Gurr y Wratten, 1999). Los cítricos en México pudieran ser un primer modelo de control biológico integrado.

Potenciando el control biológico de *D. citri*

Inclusión y conservación de plantas nectaríferas. Debido a las condiciones imperantes del cultivo, el parasitoide *T. radiata* esta necesariamente ausente de los cítricos durante gran parte del año. Una estrategia para su conservación sería la inclusión de plantas nectaríferas para atraer poblaciones de EN. Sin embargo, no todas las especies nectaríferas son igualmente atractivas, por lo que se requieren estudios particulares. Así, Irvin *et al.* (2021), después de evaluar cuatro especies de plantas con flores en la conservación de *Allograpta obliqua* (Diptera: Syrphidae), solo dos fueron atractivas para el importante depredador de *D. citri* en California. Se registraron 2.5 veces más depredadores y 3.5 veces más oviposuras en huertas con presencia de plantas florales, que en las que no las tuvieron.

Cuando el parasitoide *T. radiata* se alimentó con néctar de *Fagopyrum esculentum*, su sobrevivencia se incrementó significativamente y las hembras tuvieron cinco veces más huevos que las alimentadas con otras fuentes de azúcares. Así, la adición de plantas nectaríferas en huertas citrícolas pudiera potenciar la eficiencia de *T. radiata* (Irvin y Hoddle, 2021). Al respecto, en el noroeste de Michoacán, México, de más de 27 especies de plantas fanerógamas evaluadas, solo 24 de ellas registraron parasitoides. Destacan plantas anuales como *Stevia serrata*; arbustos, como *Senecio salignus* y *Buddleja* sp.; árboles como *Thouinia villosa*; y trepadoras como *Serjania racemosa*. En las flores de esas plantas se registraron >14 Familias de himenópteros parasíticos (Datos sin publicar).

La adición de néctar y polen por si sola no garantiza la prevalencia de EN en los agroecosistemas. Si faltan presas u hospederos para EN; éstos, como entomófagos

que son, serán incapaces de completar su ciclo biológico, o se alejarán en busca de alimento, particularmente los parasitoides como *T. radiata*. La conservación de hospederos alternos es entonces fundamental para la permanencia de EN junto a los agroecosistemas.

Conservación de hospederos alternos. Un ejemplo cercano a *D. citri* fue el control biológico de *T. erythrae* con el parasitoide *T. dryi* en Isla Trinidad. *Trioza eastopi* se alimenta en la maleza *Litsea chinensis* (Lauraceae) y funciona como hospedero alternativo del parasitoide, el que logró incrementarse y controlar exitosamente a la plaga (Duran-Vila y Bové, 2015).

La especie *Asclepias curassavica* (Apocynaceae) hospeda fitófagos especialistas (>9), incluidos los órdenes Hemiptera, Lepidoptera, Diptera, Coleoptera, y la subclase Acarina. Incluye especies como *Aphis nerii*, *Danaus plexippus* (Lepidoptera: Nymphalydae), *Euchaetes antica* (Lepidoptera: Erebidae), *Liriomyza asclepiadis* (Diptera: Agromyzidae) y el ácaro *Eotetranychus typhae* (Tetranychidae), entre otros (Figura 2) (Cortez-Madriral *et al.*, 2016).

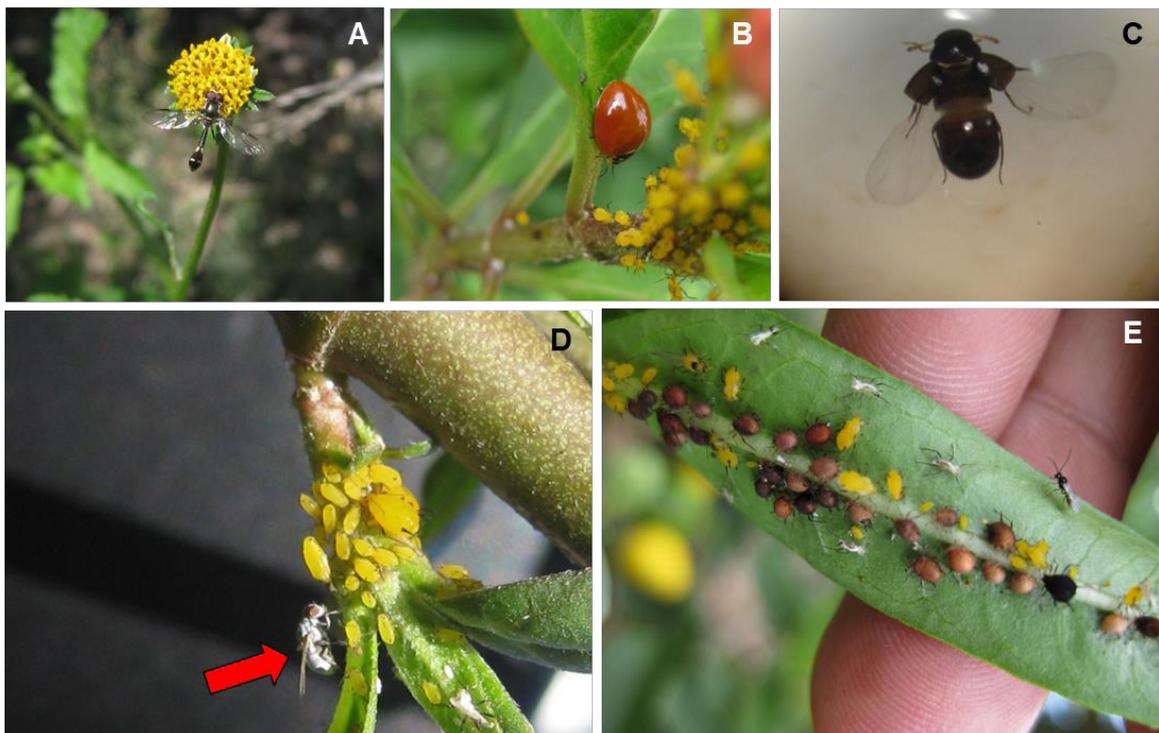


Figura 2. *Aphis nerii* en *Asclepias curassavica* y algunos enemigos naturales asociados. A) *Pseudodorus clavatus*, B) *Cycloneda sanguinea*, C) Adulto de *Oligota*, D) Adulto de *Chamaemyiidae*, E) Momias y adultos de *Lyciphlebus testaceipes*.

En condiciones de campo de la Ciénega de Chapala, Michoacán, los fitófagos especializados de *A. curassavica* reclutaron más de 20 especies de EN en huertas de cítricos; incluidos parasitoides de huevos, áfidos y minadores; así como una amplia diversidad de depredadores, incluidas las familias Coccinellidae, Syrphidae, Chamaemyiidae, Chrysopidae, Staphylinidae, Cecidomyiidae; y en los órdenes Thysanoptera, Hemiptera, y ácaros de la familia Phytoseiidae, entre otros (Figura 2) (Cortez-Madrigal *et al.*, 2016). De los coccinélidos registrados, *O. v-nigrum*, *H. convergens* y *C. sanguinea* son depredadores importantes de *D. citri* (Michaud, 2004; Cortez-Mondaca *et al.*, 2010).

Estudios desarrollados en cítricos registraron una reducción importante de plagas del cultivo del limón persa *Citrus x latifolia* en donde se incorporó la planta *A. curassavica*; entre ellas, *D. citri*. Una explicación dada fue la abundancia de EN reclutados por *A. curassavica*, principalmente de las familias Coccinellidae, Syrphidae, Chamaemyiidae y Chrysopidae (Godoy-Ceja y Cortez-Madrigal, 2018).

La mariposa monarca resultó ser un importante hospedero del parasitoide de huevos *Trichogramma pretiosum* (Trichogrammatidae), con parasitismo múltiple por huevo. En la región de estudio, *T. pretiosum* estuvo presente durante gran parte del año (Cortez-Madrigal *et al.*, 2016), lo que pudo explicar la baja incidencia de larvas de lepidópteros plaga en cítricos (Godoy-Ceja y Cortez-Madrigal, 2018).

Dispositivos para conservar parasitoides *in situ*. El objetivo es conservar *in situ* parasitoides de plagas sésiles o de baja movilidad. En recipientes con aberturas de emergencia y mallas selectivas, se deposita material vegetal infestado por la plaga, de modo que permitan la emergencia solo del parasitoide (Kehrli *et al.*, 2005). Otra modificación incluye jaulas que cubran plantas completas, adaptadas con aberturas de emergencia con malla selectiva (Desurmont *et al.*, 2022) como la mencionada antes.

Para la conservación de *T. triozae* (Hymenoptera: Eulophidae), parasitoide de la paratrioza de las solanáceas (*Bactericera cockerelli*; Hemiptera: Triozidae), se determinó que una abertura de malla de 500 µm permitió hasta un 89 % de emergencia de parasitoides y retuvo los psílicos adultos (Figura 3). En condiciones de campo del cultivo de jitomate, el dispositivo favoreció >80 % de parasitismo de la paratrioza (Datos sin publicar).

Ese mismo dispositivo con modificaciones menores pudiera potenciar el control biológico de *D. citri*. Por ejemplo, mediante el diseño y uso de jaulas como las arriba descritas que cubran plantas de *Murraya* spp. con poblaciones de *D. citri* y *T. radiata*. Las características vegetativas de *M. paniculata* hace que la planta se utilice en programas de cría masiva de *T. radiata* para su posterior liberación en campo (Parra *et al.*, 2016; García-Ávila *et al.*, 2021). Además de *T. radiata*, el empleo de los dispositivos pudiera también conservar HEPs del psílido. Por ejemplo,

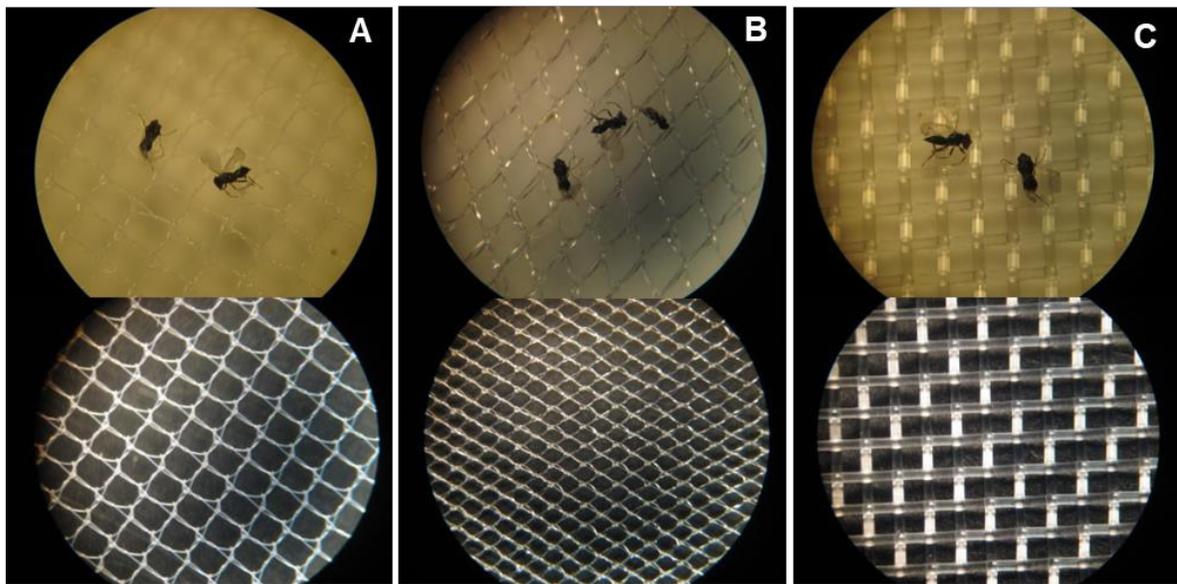


Figura 3. Diferentes tipos de malla evaluadas en la emergencia selectiva de *Tamarixia triozae*, parasitoide de *Bactericera cockerelli* como modelo para implementar con *D. citri* y su parasitoide. A) Mallas de 700 x 700 µm, B) 700 x 900 µm, C) 500 µm.

en periodos de estiaje y ausencia de brotación en cítricos de Yucatán, México, los setos de *M. paniculata* fue donde se registró prevalencia de *H. citrifomis* (Cortez-Madriral *et al.*, 2013).

Dispositivos para la conservación y autodiseminación de HEPs. Algunos autores sugieren el uso de la técnica de autodiseminación de HEPs para el manejo de *D. citri* (Avery *et al.*, 2010). Sin embargo, se han implementado pocos estudios. Así, Patt *et al.* (2015) evaluaron dispositivos de color amarillo cebados con esporas de *I. fumosorosea* en condiciones de invernadero. Después de 24 h, el 55 % de adultos fueron infectados con el entomopatógeno; cuando los cadáveres micosados se expusieron a ninfas sanas, >90 % de ellas fueron infectadas. Las blastosporas en la trampa mostraron viabilidad hasta por 20 días, la que se redujo cuando las trampas se expusieron directamente al sol. En otro estudio mediante tarjetas amarillas impregnadas con esporas del mismo hongo, la mortalidad de adultos fue <40 %; cuando se añadieron volátiles de los cítricos a las tarjetas, la mortalidad se incrementó en 23 % (Moran *et al.*, 2011).

En especies de hongos como *H. citrifomis*, con bajo potencial para utilizarse de manera inundativa, la autodiseminación pudiera favorecer la conservación y desarrollo temprano de epizootias. En diferentes partes del mundo ocurren epizootias de *H. citrifomis* en poblaciones de *D. citri*, con mortalidades variables; desde 75 % en

Florida (Hall *et al.*, 2012), hasta 92 % en Rovirosa, Quintana Roo, México (Mora-Aguilera *et al.*, 2017).-

La autodiseminación de HEPs pudiera favorecerse por el comportamiento de *D. citri*; entre otros, el apareamiento con múltiples parejas (Wenninger y Hall, 2008), la preferencia de los machos por hembras positivas para copular, mayor capacidad de vuelo de adultos positivos (Yamada *et al.*, 2019) y la atracción por trampas de color (Moran *et al.*, 2011), entre otras. Adicionalmente, el posible desarrollo de una feromona sexual (Wenninger *et al.*, 2008) del insecto pudiera potenciar la técnica de autodiseminación.

Análisis y perspectivas

A pesar de los pronósticos catastróficos desde la aparición del HLB en 2009 (Salcedo-Baca *et al.*, 2010), los esfuerzos emprendidos en México han evitado los peores impactos de la enfermedad en la citricultura mexicana. Sin embargo, ocho años después de su aparición la enfermedad continúa su dispersión, y en 2017 ya se tenían registros en los 24 estados citrícolas del país (García-Ávila *et al.*, 2021). Lo anterior demuestra que la citricultura nacional siempre estará en permanente riesgo por la presencia del patosistema *D. citri*-CLas. Recientes estudios señalan que algunos citricultores mexicanos han optado por cambiar de cultivo, lo que significará una reducción considerable en la producción citrícola nacional (Granados-Ramírez *et al.*, 2018).

Es claro que la investigación sobre el patosistema *D. citri*-CLas no ha concluido. Se requieren estrategias que reduzcan costos fitosanitarios, donde el CBPC tiene un importante papel que jugar. La presente revisión evidencia la ausencia de estudios y programas enfocados a la conservación de EN para *D. citri*, aun cuando se demuestra la importancia para su manejo (Qureshiy y Stansly, 2009; Irvin *et al.*, 2021;). *E.g.*, se ha estimado que en huertas sin programas efectivos de CBPC, las pérdidas anuales estimadas pudieran alcanzar los 2 000 USD/ha (Monzó y Stansly, 2020). Como referencia, el costo en aplicación de insecticidas en cítricos de Florida alcanzó los 3 000 USD/ha (García-Ávila *et al.*, 2021). Por lo tanto, la viabilidad a largo plazo de las estrategias hasta ahora implementadas para el manejo del HLB deberían reconsiderarse (Monzó y Stansly, 2020).

Las estrategias aquí planteadas para programas de CBPC en cítricos son sencillas, y no perturbarían las medidas ya implementadas para el manejo del patosistema *D. citri*-CLas. Un trabajo a futuro es evaluar especies de *Murraya* en la conservación de *T. radiata* mediante el diseño y uso de jaulas selectivas durante períodos de ausencia de ninfas de *D. citri* en cítricos. Además de proteger al parasitoide de aplicaciones de plaguicidas, se adelantarían sus poblaciones para sincronizarlas con el inicio de poblaciones de ninfas en cítricos. Otros estudios demuestran la

factibilidad de modificar la secuencia de aparición plaga-EN en los agroecosistemas, por la de EN-plaga, lo que se sabe potencia el CB (Doutt y Nakata, 1973; Jacas y Urbaneja, 2010).

Existen numerosas especies de plantas que albergan fitófagos especializados que pudieran funcionar como presas alternas de depredadores en cítricos; es decir, con bajo riesgo de convertirse en plagas; un ejemplo es la familia Apocynaceae (=Asclepiadaceae). En México, la familia está ampliamente distribuida con >300 especies en el país (Juárez-Jaimes *et al.*, 2007), de modo que existe un alto potencial para incluirlas en programas de CBPC de *D. citri*. Además de *A. curassavica*, las especies *A. linaria*, *A. angustifolia* y *Mandevilla foliosa* han registrado poblaciones de *A. nerii*, *D. plexippus* y chinches de la familia Lygaeidae. Incluso, plantas tolerantes a CLas, como *M. koenigii*, pudieran funcionar como planta trampa de *D. citri* y albergar EN; entre otros, *T. radiata*.

En conjunto con hospederos alternos, la aportación de néctar y polen es fundamental para el reclutamiento e incremento de la amplia diversidad de depredadores que inciden en *D. citri* (Kondo *et al.*, 2015). La inclusión de plantas nectaríferas en cítricos para la conservación de EN de *D. citri* es un aspecto pobremente estudiado (Irvin *et al.*, 2021; Irvin y Hoddle, 2021). Estudios pioneros en México como los aquí descritos, pudieran utilizarse como punto de partida para el manejo del patosistema, principalmente en plantaciones jóvenes donde la ausencia de floración es evidente. A la par, debe investigarse que las plantas acompañantes no sean hospederas de *D. citri* y de otras plagas importantes.

La atracción que presenta *D. citri* por el color amarillo abre posibilidades para utilizar trampas cebadas con entomopatógenos, y aprovechar al mismo insecto para su autodiseminación. La baja cantidad de inóculo utilizado y el bajo efecto en organismos no blanco señalan a la autodiseminación como una herramienta de utilidad en programas de CBPC del complejo *D. citri*-CLas. Una ventaja a destacar en vectores es el poder adelantar epizootias en la población (en bajas poblaciones), lo que presumiblemente retrasaría la dispersión e incidencia del HLB. Sin embargo, se requieren estudios epidemiológicos de campo y laboratorio que identifiquen las condiciones bióticas y abióticas que favorecen el desarrollo de epizootias; *e.g.*, la caracterización de HEPs, donde se incluya entre otros, la velocidad de germinación a diferente temperatura y humedad. Existe la idea generalizada de que los HEPs requieren de alta humedad para su desarrollo (>90 %; Tanada y Kaya, 1993); sin embargo, para su germinación y muerte del hospedero pudiera ser suficiente 53 % de humedad (Hastuti *et al.*, 1999).

Lo anterior abre posibilidades para identificar aislamientos más virulentos en ambientes adversos; por ejemplo, en regiones cítricas con baja humedad macroambiental, pero condiciones microambientales favorables para los HEPs (*e.g.* riego). Sorprendentemente, de 28 artículos relacionados con HEPs en *D. citri*,

ninguno aborda estudios relacionados con la respuesta de aislamientos a la humedad.

Queda pendiente la evaluación de otros EN, como los nematodos entomopatógenos (NEPs). Observaciones preliminares demostraron que la especie *Heterorhabditis indica* infecta y mata adultos de *D. citri* (datos sin publicar). Sin embargo, la aspersión de NEPs en follaje ha dado resultados incipientes, por lo que la pregunta entonces sería ¿Cómo pudieran aplicarse para *D. citri*? Una posible estrategia sería el uso de trampas atrayentes cebadas con juveniles de NEPs. La rapidez con la que mata a su hospedero hace de esos organismos una herramienta atractiva para el control de vectores de enfermedades como *D. citri*.

La amplia diversidad del agroecosistema cítrico en México se plantea como una limitante en el manejo regional del patosistema *D. citri*-CLas (Mora-Aguilera, 2013). Sin embargo, el manejo local de plantaciones pequeñas y dispersas de cítricos, incluidas rutáceas ornamentales, ha demostrado ser también exitoso en el manejo de la enfermedad (Uechi *et al.*, 2019). Esas experiencias deberían considerarse para su implementación en programas de CBPC en México e incentivar a productores a favorecer la diversificación del cultivo; por ejemplo, mediante barreras rompevientos, una estrategia ya recomendada para reducir la dispersión del vector y del HLB (Stelinski, 2019). Si las barreras seleccionadas fuesen árboles con potencial nectarífero, su efecto sería doble: como barreras, y como atrayentes de EN y polinizadores.

En suma, el aprovechamiento exitoso y sustentable de EN en programas de CBPC requiere de estudios ecológico/epidemiológicos. Es necesario visualizar a los EN como parte importante de comunidades con cadenas tróficas sofisticadas, lo que resulta en complejos sistemas de interacciones ecológico-epidemiológicas. El cultivo y la vegetación espontánea como primer nivel trófico tiene un rol integrador importante de esas cadenas tróficas, donde convergen entomófagos-entomopatógenos-fitófagos-fitopatógenos. Así, emergen complejas interacciones positivas y negativas en cada nivel trófico y los correspondientes beneficios (+) o perjuicios (-) para las especies consumidoras. *E.g.*, el complejo depredador-parasitoide-entomopatógeno (D-P-E) asociado con *Toxoptera citricida* favorece (+) indirectamente a *D. citri*, y por tanto a CLas al suprimir la competencia por brotes vegetativos entre ambas plagas. Finalmente, todo el complejo D-P-E de *D. citri* y *T. citricida* favorece (+) la salud de los cítricos en general (Figura 4) (Mora *et al.*, 2017).

CONCLUSIONES

La principal estrategia de control de *D. citri* y CLas es mediante insecticidas, y el control biológico inundativo de *T. radiata* y algunas especies de HEPs de manera

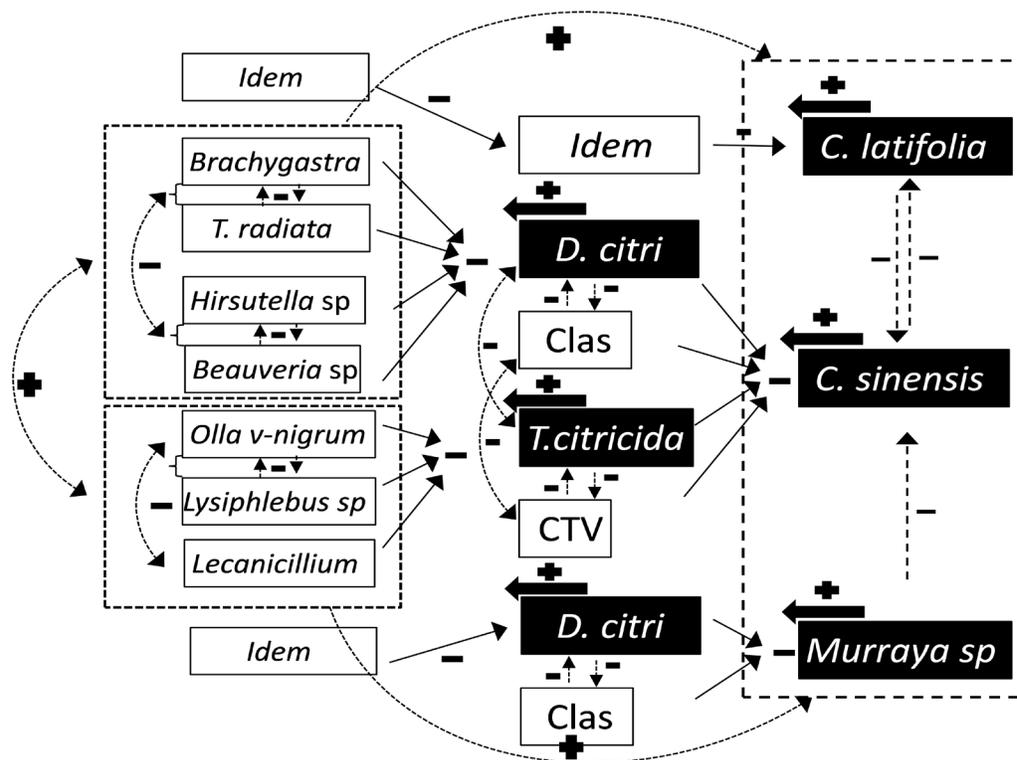


Figura 4. Sistema trófico fitosanitario en dos especies de cítricos (limón persa y naranja dulce) y la limonaria *M. paniculata*, los que son infestados diferencialmente con dos especies plaga-vector (*D. citri* y *T. citricida*) y dos patógenos (Citrus tristeza virus y *Candidatus Liberibacter asiaticus*). Tomado de Mora *et al.* (2017).

complementaria. Aunque ocurren epizootias naturales de hongos en *D. citri*, son pocos los estudios ecológicos/epidemiológicos que coadyuvan a la selección de aislamientos de HEPs con mayor racionalidad. Pocos estudios se han desarrollado para expandir su empleo en forma endofítica y mediante autodiseminación.

Los depredadores de *D. citri* son reconocidos como uno de sus principales reguladores, incluso superior a *T. radiata* en diferentes partes del mundo; sin embargo, su amplia diversidad ha sido pobremente aprovechada en el manejo del patosistema, principalmente por la interferencia del control químico y la simplicidad ecológica del cultivo.

Es evidente la ausencia de estudios sobre control biológico por conservación de *D. citri*, aun cuando se menciona reiteradamente su importancia. Su implementación pudiera potenciar, no solo el control biológico de *D. citri*-CLas, sino también la autorregulación de plagas de cítricos en general. Se requiere de un mayor esfuerzo y entendimiento por todos los sectores involucrados: instituciones, gobierno,

investigadores, técnicos, productores y sociedad en general. El reto es grande, pero la amplia diversidad de regiones y sistemas de producción citrícola en México pudiera favorecer lo que sería una primera aproximación a la idea del control biológico integral: por conservación, clásico e inundativo.

LITERATURA CITADA

- Aguilar RC, Rodríguez JAL, Gómez MU y Medel RR. 2014. Evaluación socioeconómica del sistema agroforestal tradicional café-plátano-citrícos en el municipio de Tlapacoyan, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17: 315-319. www.redalyc.org/pdf/939/93931761024.pdf
- Alemán, J, Baños H y Ravelo J. 2007. *Diaphorina citri* y la enfermedad huanglongbing: una combinación destructiva para la producción citrícola. *Revista de Protección Vegetal* 22: 154-165.
- Arshad M, Ullah MI, Çağatay NS, Dikmen F, Abdullah A and Afzal, M. 2019. *Cordia myxa* L., a New Host Plant Record for Asian Citrus Psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama. *Southwestern Entomologist* 44: 331-334. <https://doi.org/10.3958/059.044.0137>
- Aubert B. 1987. *Trioza erytrae* Del Guercio and *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psylloidea), the two vectors of citrus greening disease: biological aspects and possible control strategies. *Fruits* 42: 149-162. swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/00000773.pdf
- Avery PB, Queeley GL, Faull, J and Simmonds MSJ. 2010. Effect of photoperiod and host distribution on the horizontal transmission of *Isaria fumosorosea* (Hypocreales: Cordycipitaceae) in greenhouse whitefly assessed using a novel model bioassay. *Biocontrol Science and Technology* 20: 1097-1111. <https://eprints.bbk.ac.uk/id/eprint/1258/1/1258-nicklin.pdf>
- Ayala-Zermeño MA, Gallou A, Berlanga-Padilla AM, Serna-Domínguez MG, Arredondo-Bernal HC y Montesinos-Matías R. 2015. Characterisation of entomopathogenic fungi used in the biological control programme of *Diaphorina citri* in Mexico. *Biocontrol Science and Technology* 25: 1192-1207. <https://doi.org/10.1080/09583157.2015.1041878>
- Bamisile BS, Siddiqui JA, Akutse KS, Ramos Aguila LC and Xu Y. 2021. General limitations to endophytic entomopathogenic fungi use as plant growth promoters, pests and pathogens biocontrol agents. *Plants* 10: 1-23. <https://doi.org/10.3390/plants10102119>
- Beloti VH, Alves GR, Coletta-Filho HD and Yamamoto PT. 2018. The Asian citrus psyllid host *Murraya koenigii* is immune to citrus huanglongbing pathogen ‘Candidatus Liberibacter asiaticus’. *Phytopathology* 108(9): 1089-1094. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-18-0012-R>
- Brown SE, Oberheim A P and Barrett A. 2014. First report of ‘Candidatus Liberibacter asiaticus’ associated with huanglongbing in the weeds *Cleome rutidosperma*, *Pisonia aculeata* and *Trichostigma octandrum* in Jamaica. *Journal of Citrus Pathology* 1(1): 257-258. <https://escholarship.org/content/qt8dw9c1f5/qt8dw9c1f5.pdf>
- Chiu SC, Aubert B and Chien CC. 1988. Attempts to establish *Tetrastichus radiatus* Waterson (Hymenoptera, Chalcidoidea), a primary parasite of *Diaphorina citri* Kuwayama in Taiwan. *In: International Organization of Citrus Virologists Conference Proceedings* 10: 265-268. <https://doi.org/10.5070/C520x931xp>
- Cortez-Madrigal H, García-González F, Guzmán-Larralde A, Acuña-Soto JA and Otero-Colina G. 2016. Conserving phytophagous arthropods to conserve natural enemies: *Asclepias curassavica* as the model. *Southwestern Entomologist* 41: 681-692. <https://doi.org/10.3958/059.041.0311>
- Cortez-Madrigal H and Gutiérrez-Cárdenas OG. 2023. Enhancing biological control: conservation of alternative hosts of natural enemies. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 33: 1-13. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00675-2>
- Cortez-Madrigal H, Mora-Aguilera G and Humber RA. 2013. Exploración y aislamiento de hongos entomopatógenos asociados a *Diaphorina citri* en la Península de Yucatán. Pp. 93-105. *In: Mendoza PJ de D, De la Cruz LE, Martínez ME, Osorio OR y Estrada BMA (eds.). Tópicos Selectos de Agronomía Tropical 2. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tab., México. 427p.*
- Cortez-Mondaca E, Lugo-Angulo NE, Pérez-Márquez J and Apodaca-Sánchez MÁ. 2010. Primer reporte de enemigos naturales y parasitismo sobre *Diaphorina citri* Kuwayama en Sinaloa, México. *Southwestern Entomologist* 35: 113-116. <https://doi.org/10.3958/059.035.0113>

- Desurmont GA, Tannières M, Roche M, Blanchet A and Manoukis NC. 2022. Identifying an optimal screen mesh to enable augmentarium-based enhanced biological control of the olive fruit fly *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) and the mediterranean fruit fly *Ceratitits capitata* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Insect Science* 22: 11. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieac027>
- Damsteegt VD, Postnikova EN, Stone AL, Kuhlmann M, Wilson C, Sechler A., ... and Schneider WL. 2010. *Murraya paniculata* and related species as potential hosts and inoculum reservoirs of 'Candidatus Liberibacter asiaticus', causal agent of Huanglongbing. *Plant Disease* 94(5): 528-533. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-5-0528>
- Díaz-Padilla G, López-Arroyo JI, Sánchez-Cohen I, Guajardo-Panes RA, Mora-Aguilera G and Quijano-Carranza JÁ. 2014. Áreas de abundancia potencial en México del vector del Huanglongbing, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(7): 1137-1153. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000700001&script=sci_art-text
- Diniz AJF, Garcia AG, Alves GR, Reigada C, Vieira JM and Parra JRP. 2020. The enemy is outside: Releasing the parasitoid *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in external sources of HLB inocula to control the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Neotropical Entomology* 49: 250-257. <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00736-y>
- Doutt RL and Nakata J. 1973. The rubus leafhopper and its egg parasitoid: An endemic biotic system useful in grape-pest management. *Environmental Entomology* 2: 381-386. <https://doi.org/10.1093/ee/2.3.381>
- Duran-Vila N and Bové JM. 2015. Citrus HLB is an emerging disease transmitted by psyllid vectors. Can it be prevented? If not, can it be managed? *International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies. Watch Lett* 3: 1-9.
- Étienne J, Quilici S, Marival D and Franck A. 2001. Biological control of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in Guadeloupe by imported *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae). *Fruits* 56:307-315. fruits.edpsciences.org/articles/fruits/pdf/2001/05/quilici.pdf
- Flores D and Ciomperlik M. 2017. Biological control using the ectoparasitoid, *Tamarixia radiata*, against the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, in the Lower Rio Grande Valley of Texas. *Southwestern Entomologist* 42: 49-59. <https://doi.org/10.3958/059.042.0105>
- Galdeano DM, De Souza Pacheco I, Alves GR, Granato LM, Rashidi M, Turner D., ... and Machado MA. 2020. Friend or foe? Relationship between 'Candidatus Liberibacter asiaticus' and *Diaphorina citri*. *Tropical Plant Pathology* 45: 559-571. <https://doi.org/10.1007/s40858-020-00375-4>
- Gallou A, Serna-Domínguez MG, Berlanga-Padilla AM, Ayala-Zermeño MA, Mellín-Rosas MA, Montesinos-Matías R and Arredondo-Bernal HC. 2016. Species clarification of *Isaria* isolates used as biocontrol agents against *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in Mexico. *Fungal Biology* 120: 414-423. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2015.11.009>
- García-Ávila CJ, Trujillo-Arriaga FJ, Quezada-Salinas A, Ruiz-Galván I, Bravo-Pérez D, Pineda-Ríos JM., ... and Robles-García PL. 2021. Holistic area-wide approach for successfully managing citrus greening (Huanglongbing) in Mexico. Pp. 33-49. *In: Hendrichs J, Pereira R and Vreysen, MJB (eds.). Area-Wide Integrated Pest Management*. CRC Press, Boca Raton, FL. 1012p.
- Godoy-Ceja CA y Cortez-Madriral H. 2018. Potencial de *Asclepias curassavica* L. (Apocynaceae) en el control biológico de plagas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9: 303-315. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1073>
- Granados-Ramírez GR and Hernández-Hernández R. 2018. Reconversión de cultivos como resultado de la presencia de Huanglongbing en Colima, México. *Revista Geográfica de América Central* 3: 413-431. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.61-3.21>
- Gurr GM and Wratten SD. 1999. Forum 'Integrated biological control': A proposal for enhancing success in biological control. *International Journal of Pest Management* 45:81-84. <https://doi.org/10.1080/096708799227851>
- Gurr GM and You M. 2016. Conservation biological control of pests in the molecular era: New opportunities to address old constraints. *Frontiers in Plant Science* 6:1255. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01255>
- Hall DG, Hentz MG, Meyer JM, Kriss AB, Gottwald TR and Boucias DG. 2012. Observations on the entomopathogenic fungus *Hirsutella citrififormis* attacking adult *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in a managed citrus grove. *BioControl* 57: 663-675. <https://doi.org/10.1007/s10526-012-9448-0>
- Halbert SE and Manjunath KL. 2004. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. *Florida Entomologist* 87: 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)

- Hastuti BS, Glare TR and Chapman RB. 1999. Effects of temperature and humidity on the susceptibility of *Paropsis charybdis* to *Beauveria bassiana*. In: Proceedings of the New Zealand Plant Protection Conference 52: 103-107.
- Ibanez V, López-García A, Carbonell Caballero J, Alonso R, Terol J., Dopazo J and Talón M. 2015. El origen de las especies cultivadas de cítricos. Levante Agrícola: Revista Internacional de Cítricos 426: 74-79. redivia.gva.es/bitstream/handle/20.500.11939/4176/2015_Iba%C3%B1ez_El%20Origen.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Inoue H, Ohnishi J, Ito T, Tomimura K, Miyata S, Iwanami T and Ashihara W. 2009. Enhanced proliferation and efficient transmission of *Candidatus Liberibacter asiaticus* by adult *Diaphorina citri* after acquisition feeding in the nymphal stage. Annals of Applied Biology 155: 29-36. <https://doi:10.1111/j.1744-7348.2009.00317.x>
- Irvin NA and Hoddle MS. 2021. The effects of floral nectar, extrafloral nectar and hemipteran honeydew on the fitness of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of *Diaphorina citri*. Biological Control 163: 104753. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104753>
- Irvin NA, Pierce C and Hoddle MS. 2021. Evaluating the potential of flowering plants for enhancing predatory hoverflies (Syrphidae) for biological control of *Diaphorina citri* (Liviidae) in California. Biological Control 157: 104574. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104574>
- Jacas JA and Urbaneja A. 2010. Biological control in citrus in Spain: from classical to conservation biological control. Pp. 61-70. In: Ciancio A and Mukerji KG (eds.). Integrated Management of Arthropod Pests and Insect Borne Diseases. Springer, London. 366p.
- Juárez-Jaimes V, Alvarado-Cárdenas LO y Villaseñor JL. 2007. La familia Apocynaceae *sensu lato* en México: diversidad y distribución. Revista Mexicana de Biodiversidad 78: 459-482. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v78n2/v78n2a20.pdf>
- Kehrli P, Lehmann M and Bacher S. 2005. Mass-emergence devices: a biocontrol technique for conservation and augmentation of parasitoids. Biological control 32: 191-199. <https://doi:10.1016/j.biocontrol.2004.09.012>
- Kondo T, González G, Tauber C, Sarmiento YCG, Mondragon AFV and Forero D. 2015. A checklist of natural enemies of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) in the department of Valle del Cauca, Colombia and the world. Insecta Mundi 457: 1-14. <https://journals.flvc.org/mundi/article/view/0457>
- Leong SS, Leong SCT and Beattie GAC. 2020. Incidence and spread of Huanglongbing (HLB) or citrus greening disease in relation to the distribution and fluctuation of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) population in a citrus orchard in Sarawak, Malaysia. Serangga 24-42. <http://journalarticle.ukm.my/16586/1/37916-134204-1-PB.pdf>
- Lezama-Gutiérrez R, Molina-Ochoa J, Chávez-Flores O, Ángel-Sahagún CA, Skoda SR, Reyes-Martínez G, ... and Foster JE. 2012. Use of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae*, *Cordyceps bassiana* and *Isaria fumosorosea* to control *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in Persian lime under field conditions. International Journal of Tropical Insect Science 32: 39-44. <http://digitalcommons.unl.edu/entomologyfacpub/362>
- Lira R. 2004. El género *Sycidium* (Cucurbitaceae, Zanonioideae, Zanonieae, Sicydiinae) en México. Acta Botánica Mexicana 68: 39-64. <https://inecol.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1005/387/1/978-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2771-1-10-20160628.pdf>
- Liu YH and Tsai JH. 2000. Effects of temperature on biology and life table parameters of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae). Annals of Applied Biology 137:201-206. <https://swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/Liu%20and%20Tsai%202000.pdf>
- Lozano-Contreras MGL and Jasso-Argumedo J. 2012. Identificación de enemigos naturales de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) en el estado de Yucatán, México. Fitosanidad 16: 5-11. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209125190004>
- Meyer JM, Hoy MA and Boucias DG. 2008. Isolation and characterization of an *Isaria fumosorosea* isolate infecting the Asian citrus psyllid in Florida. Journal of Invertebrate Pathology 99(1): 96-102. <https://doi.101016/j.jip.2008.03.007>
- Michaud JP. 2004. Natural mortality of Asian citrus psyllid (Homoptera: Psyllidae) in central Florida. Biological Control 29: 260-269. [https://doi:10.1016/S1049-9644\(03\)00161-0](https://doi:10.1016/S1049-9644(03)00161-0)
- Monzó C and Stansly PA. 2015. Thresholds for vector control and compatibility with beneficial fauna in citrus with high incidence of Huanglongbing. Acta Hort 1065: 1137-1143. https://swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/24_Monzo_15.pdf
- Monzó C and Stansly PA. 2020. Economic value of conservation biological control for management of the Asian citrus psyllid, vector of citrus Huanglongbing disease. Pest Management Science 76: 1691-1698. <http://dx.doi.org/10.1002/ps.5691>

- Mora-Aguilera G. 2013. Huanglongbing *Candidatus Liberibacter* spp. Ficha Técnica N° 78. SENASICA, SADER. México. 28p.
- Mora-Aguilera G, Robles-García P, López-Arroyo JI, Flores-Sánchez J, Acevedo-Sánchez G, Domínguez-Monge S, ... and González-Gómez R. 2014. Situación actual y perspectivas del manejo del HLB de los cítricos. *Revista Mexicana de Fitopatología* 32(2): 108-119. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v32n2/2007-8080-rmfi-32-02-00108.pdf>
- Mora-Aguilera G, Cortez-Madrigal H and Acevedo-Sánchez G. 2017. Epidemiology of entomopathogens: Basis for rational use of microbial control of insects. *Southwestern Entomologist* 42: 153-169. <https://doi.org/10.3958/059.042.0116>
- Moran PJ, Patt JM, Cabanillas HE, Adamczyk JL, Jackson MA, Dunlap CA, ... and Avery PB. 2011. Localized autoinoculation and dissemination of *Isaria fumosorosea* for control of the Asian citrus psyllid in South Texas. *Subtropical Plant Science* 63: 23-35. [https://pubag.nal.usda.gov/download/54210/pdNava DE, Torres MLG, Rodrigues MDL, Bento JMS and Parra JRP. 2007. Biology of *Diaphorina citri* \(Hem., Psyllidae\) on different hosts and at different temperatures. *Journal of Applied Entomology* 131\(9-10\): 709-715. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2007.01230.x>](https://pubag.nal.usda.gov/download/54210/pdNava%20DE,%20Torres%20MLG,%20Rodrigues%20MDL,%20Bento%20JMS%20and%20Parra%20JRP.2007.01230.x)
- Padulla LFL and Alves SB. 2021. Suscetibilidade de ninfas de *Diaphorina citri* a fungos entomopatogênicos. *Arquivos do Instituto Biológico* 76: 297-302. <https://doi.org/10.1590/1808-1657v76p2972009>
- Parra JRP, Alves GR, Diniz AJF and Vieira JM. 2016. *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) × *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae): mass rearing and potential use of the parasitoid in Brazil. *Journal of Integrated Pest Management* 7: 1-11. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmw003>
- Parra JRP and Coelho A. 2019. Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. *Journal of Insect Science* 19: 1-6. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iey112>
- Patt JM, Chow A, Meikle WG, Gracia C, Jackson MA, Flores D, ... and Damczyk JJ. 2015. Efficacy of an autodisseminator of an entomopathogenic fungus, *Isaria fumosorosea*, to suppress Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, under greenhouse conditions. *Biological Control* 88: 37-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.04.014>
- Pluke RW, Qureshi JA and Stansly PA. 2008. Citrus flushing patterns, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) populations and parasitism by *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in Puerto Rico. *Florida Entomologist* 91: 36-42. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2008\)091\[0036:CFPDCH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2008)091[0036:CFPDCH]2.0.CO;2)
- Qureshi JA and Stansly PA. 2007. Integrated approaches for managing the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) in Florida. *In: Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 120: 110-115. https://swfrec.ifas.ufl.edu/docs/pdf/entomology/publications/Stansly_Non_Qureshi07.pdf
- Qureshi JA and Stansly PA. 2009. Exclusion techniques reveal significant biotic mortality suffered by Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) populations in Florida citrus. *Biological Control* 50: 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.04.001>
- Qureshi JA, Rogers ME, Hall DG and Stansly PA. 2009. Incidence of invasive *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) and its introduced parasitoid *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in Florida citrus. *Journal of Economic Entomology* 102: 247-256. <https://pubag.nal.usda.gov/download/28837/pdf>
- Rosales-Martínez V, Martínez-Dávila JP, Osorio-Acosta F, López-Romero G, Asiaín-Hoyos A and Estrella-Chulím N. 2018. Aspectos culturales, sociales y productivos para una tipología de cafecultores. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 15: 47-61. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722018000100047
- Salcedo-Baca D, Hinojosa RA, Mora-Aguilera G, Covarrubias-Gutiérrez I, DePaolis JR, Mora-Flores JS and Cintora-González CL. 2010. Evaluación del Impacto Económico de la Enfermedad de los Cítricos Huanglongbing (HLB) en la Cadena Citrícola Mexicana. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 141p. <http://cef-profit.com/Resumen%20ejecutivo%20impactos%20HLB.pdf>.
- Saldarriaga-Ausique JJ, D'Alessandro CP, Conceschi MR, Mascarín GM and Delalibera Júnior I. 2017. Efficacy of entomopathogenic fungi against adult *Diaphorina citri* from laboratory to field applications. *Journal of Pest Science* 90: 947-960. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0846-z>
- SIAP. 2022. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (consultado 18/08/23).
- Skelley LH and Hoy MA. 2004. A synchronous rearing method for the Asian citrus psyllid and its parasitoids in quarantine. *Biological Control* 29(1): 14-23. [https://doi.org/10.1016/S1049-9644\(03\)00129-4](https://doi.org/10.1016/S1049-9644(03)00129-4)

- Stelinski LL. 2019. Ecological aspects of the vector-borne bacterial disease, citrus greening (Huanglongbing): dispersal and host use by Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama. *Insects* 10: 1-11. <http://dx.doi.org/10.3390/insects10070208>
- Tanada Y and Kaya HK. 2012. *Insect Pathology*. Academic press. 666p.
- Thakuria D, Chaliha C, Dutta P, Sinha S, Uzir P, Singh SB, ... and Singh D. 2023. Citrus Huanglongbing (HLB): Diagnostic and management options. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 125: 102016. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102016>
- Trevor W, Arredondo-Bernal HC and Rodríguez-del-Bosque LA. 2013. Biological pest control in Mexico. *Annual Review of Entomology* 58: 119-140. <https://doi.10.1146/annurev-ento-120811-153552>
- Tsai JH, and Liu YH. 2000. Biology of *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) on four host plants. *Journal of Economic Entomology* 93(6): 1721-1725. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.6.1721>
- Uechi N, Katoh H, Iwanami T, Fujikawa T, Miyata SI, Yasuda K, ... and Uesato T. 2019. Management of huanglongbing (HLB) by an intensive vector and disease control in the surroundings of the orchard, in addition to planting HLB-free trees in Okinawa, Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ* 53: 103-108. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jarq/53/2/53_103/_pdf
- Ukuda-Hosokawa R, Sadoyama Y, Kishaba M, Kuriwada T, Anbutsu H and Fukatsu T. 2015. Infection density dynamics of the citrus greening bacterium “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” in field populations of the psyllid *Diaphorina citri* and its relevance to the efficiency of pathogen transmission to citrus plants. *Applied and Environmental Microbiology* 81: 3728-3736. <https://doi.org/10.1128/AEM.00707-15>
- Wenninger EJ and Hall DG. 2008. Importance of multiple mating to female reproductive output in *Diaphorina citri*. *Physiological Entomology* 33: 316-321. <https://doi: 10.1111/j.1365-3032.2008.00633.x>
- Wenninger EJ, Stelinski LL and Hall DG. 2008. Behavioral evidence for a female-produced sex attractant in *Diaphorina citri*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 128: 450-459. <https://doi: 10.1111/j.1570-7458.2008.00738.x>
- Yamada T, Hamada M, Floreancig P and Nakabachi A. 2019. Diaphorin, a polyketide synthesized by an intracellular symbiont of the Asian citrus psyllid, is potentially harmful for biological control agents. *PLoS One* 14: e0216319. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216319>
- Yang Y, Huang M, C Beattie GA, Xia Y, Ouyang G and Xiong J. 2006. Distribution, biology, ecology and control of the psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama, a major pest of citrus: a status report for China. *International Journal of Pest Management* 52: 343-352. <https://doi: 10.1080/09670870600872994>
- Yzquierdo-Alvarez ME, Rincón-Ramírez JA, Loeza-Kuk E, López-Olguín JF, Aceves-Navarro LA and Ortiz-García CF. 2021. Fluctuación espacio-temporal de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) en limón persa (*Citrus latifolia*) en la zona citrícola de Huimanguillo, Tabasco. *Acta Zoológica Mexicana* 37: 1-14. <https://doi.org/10.21829/azm.2021.371237>